

Paalulaattojen ja paaluhatturakenteiden suunnittelu

31.1.2014

POHJARAKENTEIDEN SUUNNITTELUOHJEET



Paalulaattojen ja paaluhatturakenteiden suunnittelu

31.1.2014

Pohjarakenteiden suunnitteluohjeet

Liikenneviraston ohjeita 5/2014

Kannen kuva: Jouni Saaristo

Verkkojulkaisu pdf (www.liikennevirasto.fi)

ISSN-L 1798-663X

ISSN 1798-6648

ISBN 978-952-255-407-9

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 0295 34 3000

Infra ja ympäristö

Vastaanottaja

ELY-keskusten Liikenne- ja infrastruktuuri - vastuualueet,
Liikenneviraston Toiminnan ohjaus, Hankkeet ja Väylänpito – toimialat

Korvaa/muuttaa

Paalulaattojen ja paaluhatturakenteiden suunnitteluohje
(TIEH 2100007-08), RATO osa 3 (2008) Paalulaattoja koskevat osat

Voimassa

15.2.2014 - toistaiseksi

Asiasanat

paalulaatta, paaluhattu, taitorakenteet, geotekninen suunnittelu, pohjarakennus, eurokoodi

Paalulaattojen ja paaluhatturakenteiden suunnittelu

Tässä ohjeessa esitetään yleiset vaatimukset paalulaattojen ja paaluhatturakenteiden rakenteelliselle ja geotekniselle suunnittelulle.

Ohje on osa eurokoodijärjestelmää, joka sisältää eurokoodit ja niiden kansalliset liitteet (LVM) ja Liikenneviraston soveltamisohjeet (NCCI -sarja). Ohjeen luku 5 perustuu ratakuormien osalta Ratateknisten ohjeiden (RATO) osan 3 (julkaistu 2014) kohtaan 3.8 Ulkoiset kuormat.

Ohjetta käytetään yleisiin teihin, ratoihin ja vesiväyliin liittyvien paalulaattojen ja paaluhatturakenteiden suunnittelussa. Lisäksi ohjetta käytetään valtion avustusta saavien yksityisteiden taitorakenteiden suunnittelussa.

Ylijohtaja
Väylänpito



Raimo Tapio

Johtaja
Infra ja ympäristö



Markku Nummelin

LISÄTIETOJA

Veli-Matti-Uotinen, Heikki Lilja
Liikennevirasto
Väyläpito -toimiala, puh. 0295 34 3000

OHJE SAATAVISSA LIIKENNEVIRASTON NETTISIVULTA OSOITTEESTA

www.liikennevirasto.fi/ohjeluettelo

Kuvailulehti TIEDOKSI

Suunnittelu- ja konsulttitoimistojen liitto SKOL

Rakennusteollisuus RT

Infra ry

Suomen Kuntaliitto

Tekniset yliopistot/korkeakoulut ja ammattikorkeakoulut

VTT

G10 -kaupungit

Silta- tie/rata- ja geokonsultit

Ohjeen laatijat ja työhön osallistuneet asiantuntijat

Liikenneviraston toiminnan ohjaus, hankkeet ja väylänpitotoimialojen osastot

Liikenneviraston kirjasto

Suunnittelu, projektien toteutus, kunnossapito sekä infra ja ympäristö -osastojen yksiköt

Liikenneviraston ja ELY-keskusten geoasiantuntijat

Esipuhe

Tämän ohjeen on laatinut Sito Oy kirjoittajana Esa Patjas sekä asiantuntijoina Pekka Mantere, Jukka Elomaa ja Lea Yläsaari. Risto Parkkila VR Track Oy:stä laati kirjoitustyötä varten ratapaalulaattoja koskevia taustaselvityksiä. Työn ohjausryhmään kuuluivat Liikennevirastosta Heikki Lilja, Jani Meriläinen, Panu Tolla ja Pentti Salo sekä konsulteilta työhön osallistuneet. Ohjeen viimeistelyyn osallistuivat myös Veli-Matti Uotinen ja Sami Noponen Liikennevirastosta.

Laatimistyön kuluessa järjestettiin lausuntokierros, josta saadut lausunnot ja kommentit käsiteltiin ryhmän toimesta.

Helsingissä tammikuussa 2014

Liikennevirasto
Infra ja ympäristö

Sisällysluettelo

1	SOVELTAMISALUE JA OHJEEN LIITTYMINEN MUIHIN OHJEISIIN	8
1.1	Ohjeen käyttöalue.....	8
1.2	Suunnittelussa käytettävät ohjeet.....	8
2	POHJATUTKIMUKSET	9
2.1	Yleisvaatimukset.....	9
2.2	Tutkimukset maaperän kantavuuden ja painumaominaisuuksien selvittämiseksi.....	10
2.3	Tutkimukset maaperän- ja maaperäolosuhteiden ympäristörasituksista ja korroosiosta	11
3	PAALULAATTA- JA PAALUHATTURAKENTEET JA NIIDEN KÄYTTÖALUEET ...	12
3.1	Yleistä	12
3.2	Paalulaattarakenne.....	12
3.3	Paaluhatturakenne	15
4	PAALUJEN, LAATAN, HATTUJEN JA VARUSTEIDEN LAATUVAATIMUKSET	17
5	KUORMAT	18
5.1	Yleistä	18
5.2	Laatan ja hattujen kautta paaluille siirrettävät kuormat.....	18
5.2.1	Penkereen ja rakenteiden oma paino.....	18
5.2.2	Liikennekuormat.....	19
5.2.3	Maanpaine ja pystykuormien vaakavaikutukset.....	22
5.2.4	Työnaikaiset kuormitukset	23
5.3	Muut paaluihin vaikuttavat kuormat.....	24
6	PAALULAATAN JA PAALUHATTURAKENTEEN GEOTEKNINEN SUUNNITTELU	27
6.1	Lähtötiedot ja geometrinen suunnittelu.....	27
6.1.1	Suunnittelun vaatimat lähtötiedot.....	27
6.1.2	Penkereen osat.....	27
6.1.3	Rakenteen geometrian suunnittelu.....	29
6.1.4	Luisikat ja vierustäytöt	31
6.2	Laatan ja hatun geotekninen suunnittelu	31
6.2.1	Alueellinen ja paikallinen stabiliteetti.....	31
6.2.2	Routasuojaus.....	32
6.2.3	Paaluvälin mitoitus	32
6.2.4	Paaluhatun koon ja rakovälin mitoitus paaluhatturakenteessa	33
6.2.5	Lujitteiden käyttö	34
6.2.6	Paalutetun penkereen levittäminen ja purku.....	35
6.2.7	Työalusta ja valualusta.....	35
6.2.8	Paalutustyön seurantamittaukset	36
6.2.9	Rakennustöiden ympäristövaikutukset.....	36
6.3	Laatan ja hatun rakenteellinen suunnittelu.....	36
6.3.1	Rakenteen mitoitus kuormille ja kuormavaikutuksille	36
6.3.3	Paalulaatan rakenteellinen mitoitus.....	38
6.3.4	Paaluhatun rakenteellinen mitoitus.....	39

Paalulaattojen ja paaluhatturakenteiden suunnittelu

6.4	Paalutuksen suunnittelu	39
6.4.1	Paalutusluokan määrittäminen	39
6.4.2	Paalutyyppin valinta	40
6.4.3	Paalukoon valinta ja paalun materiaalivaatimukset.....	40
6.4.4	Paalujen sijainnin ja kaltevuuden suunnittelu.....	41
6.4.5	Paalun geotekninen kestävyys, vetokestävyys ja sivuvastus.....	42
	Paalujen jatkaminen	44
6.4.6	Paalujen sallitut sijaintipoikkeamat	44
7	PAALULAATTA- JA PAALUHATTURAKENTEIDEN LIITTÄMINEN MUIHIN RAKENTEISIIN.....	45
7.1	Liittäminen siltarakenteisiin	45
7.2	Liittäminen pohjanvahvistuksiin	45
8	PAALUTUSALUEELLE TEHTÄVÄT MUUT RAKENTEET	49
8.1	Kuivatusrakenteet	49
8.2	Paalutusalueella sijaitsevat vanhat viemärit yms. rakenteet.....	50
8.3	Paalutusalueen pylväät, portaalit ja melusteet	50
9	PAALULAATAN JA PAALUHATTURAKENTEEN SUUNNITELMAN SISÄLTÖ.....	51
9.1	Piirustukset.....	51
9.2	Laatuvaatimukset, työselostukset ja laskelmat.....	52

1 Soveltamisalue ja ohjeen liittyminen muihin ohjeisiin

1.1 Ohjeen käyttöalue

Tämä suunnitteluohje on laadittu noudatettavaksi kaikissa Liikenneviraston hankkeissa suunniteltaessa ja rakennettaessa paalulaatta- ja paaluhatturakenteita. Ohje käsittää sekä rakenteellisen että geoteknisen suunnittelun.

Ohjetta sovelletaan tie- ja ratarakenteissa, kun paalulaatan pengerkorkeus on vähintään 1,4 m. Paaluhatturakenteen pengerkorkeus on vähintään 2,1 m. Elementtirakenteiden paalulaattojen ja paaluhatturakenteiden käytölle on kohdassa 3.3 asetettu rajoituksia.

Alle 1,4 m pengerkorkeuksilla paalulaattojen suunnittelu tehdään noudattaen *NCCI1*, *NCCI2* ja *NCCI7* ohjeistusta.

1.2 Suunnittelussa käytettävät ohjeet

Paalulaattojen suunnittelussa sovellettavien määräysten ja ohjeiden pätemisjärjestys suunnittelussa on seuraava:

1. Liikenteen turvallisuusviraston (Trafi) määräykset
2. Yhteentoimivuuden tekniset eritelmat YTE (koskee rautatiesiltoja)
3. Eurokoodit ja niiden kansalliset liitteet (alla on oleelliset lueteltuina):
 - SFS-EN 1990 Eurokoodi: Rakenteiden suunnitteluperusteet
 - SFS-EN 1991 Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat
 - SFS-EN 1992 Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu
 - SFS-EN 1997 Eurokoodi 7: Geotekninen suunnittelu
4. Liikenneviraston antamat hankkeen suunnitteluperusteet
5. Liikenneviraston Eurokoodien soveltamisohjeet (NCCI-sarja), Tien geotekninen suunnittelu ja Sillan geotekninen suunnittelu sekä tämä ohje
6. Liikenneviraston ohjeet

InfraRYL:n osa Tekniset laatuvaatimukset on urakka-asiakirja. Suunnittelussa laadittavilla hankekohtaisilla laatuvaatimuksilla ja työselostuksilla voidaan korvata ja täydentää InfraRYL:n yleisiä laatuvaatimuksia.

Liikenneviraston ohjeet ovat ladattavissa internetin kautta osoitteessa
http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/urakoitsijat_suunnittelijat/vaylanpidon_ohjeet

2 Pohjatutkimukset

2.1 Yleisvaatimukset

Rakennushankkeeseen ryhtyessä on tehtävä riittävän seikkaperäiset pohjatutkimukset eri suunnitteluvaiheita vastaavasti perustamistavan valintaa ja perustusrakenteiden sekä muiden pohjarakennustöiden suunnittelua ja rakentamista varten.

Tässä ohjeessa esitettyjen vaatimusten lisäksi noudatetaan paalulaatta- ja paaluhatturakennekohteiden pohjatutkimusten suunnittelussa ohjeita *Sillan geotekninen suunnittelu* ja *Geotekniset tutkimukset ja mittaukset*. Täydentäviä ohjeita esitetään *Paalutusohjeessa 2011*.

Ohjeen *Sillan geotekninen suunnittelu* kohdassa 2.1.1 on määritelty siltojen geotekniset luokat. Paalulaatta- ja paaluhatturakennekohteiden geotekninen luokka on aina vähintään 2. Suunnittelutyön kuluessa kohde nostetaan luokkaan 3, mikäli kohteen vaativuus sitä edellyttää.

Maakerrosten väliset rajat ja tiiviys on aina selvitettävä sekä paaluilla läpäistävien että paaluja kantavien maakerrosten osalta ja tarvittaessa myös kantavien maakerrosten alapuolisilta osilta. Tutkimuksia on tihennettävä riittävästi pohjasuhteitaan nopeasti muuttuvissa olosuhteissa.

Läpäistävien pehmeiden kerrosten osalta on määritettävä maakerrosten lujuus- ja muodonmuutosominaisuudet mm. nurjahdustarkasteluja varten.

Pehmeiden maakerrosten kokoonpuristuvuusominaisuudet on selvitettävä paalutukseen liittyvien siirtymärakenteiden osalta. Lisäksi tulee selvittää mahdollisen negatiivisen vaippahankauksen esiintyminen sekä paalulaatan valualustan painuma. Näiden ominaisuuksien selvittämiseksi pehmeiköillä on tehtävä riittävä määrä lujuus- ja muodonmuutosmäärityksiä.

Kohteen alueellisen vakavuuden selvittämiseksi laskelmilla on pehmeiköllä tehtävä riittävä määrä lujuusmäärityksiä.

Pohjavedenpinnan tasoa ja vaihteluväliä sekä huokosvedenpainetta on selvitettävä siinä määrin kuin se rakenteen suunnittelun ja työn suorituksen sekä ympäristövaikutusten arvioinnin kannalta on tarpeellista.

2.2 Tutkimukset maaperän kantavuuden ja painumaominaisuuksien selvittämiseksi

Tukipaalut

Tukipaaluja käytettäessä kairauksilla on selvittettävä kallionpinnan tai tiiviin pohjakerroksen sijainti.

Kallionpinnan sijainti ja muodot on selvittettävä tavanomaista tarkemmin, kun koheesiomaakerrokset ulottuvat kallionpintaan tai kallionpinta on viettävä ja sen päällä oleva kitkamaakerros on löyhä tai ohut.

Käytettäessä kallioon ulottuvia, kalliokärjellä varustettuja teräsbetonisia tai teräksisiä lyöntipaaluja on kallionpinnan asema aina selvittettävä porakonekairauksilla.

Porapaaluja käytettäessä kallion laatu selvitetään aina porakonekairauksilla ohjeiden *NCCI 7, Siltojen ja pohjarakenteiden suunnitteluohjeet ja Paalutusohje 2011* mukaisesti. Kallion laadun selvittäminen voi olla tarpeen muitakin paalutyyppejä käytettäessä.

Heijarikairausten lisäksi on tehtävä myös paino-, puristinheijari- tai puristinkairauksia paalutusalueen eri osissa. Näillä kairauksilla selvitetään pehmeiden maakerrosten rajat.

Kiinteään maakerrokseen tukeutuvan teräsbetonisen lyöntipaalun tunkeutumissyvyys voidaan parhaiten arvioida heijarikairausvastuksen perusteella.

Paino- tai heijarikairaukset voivat antaa viitteitä pohjakerroksen lohkaraisuudesta. Lohkareisessa maaperässä on tehtävä porakonekairauksia.

Kitkapaalut

Pohjatutkimukset tulee ulottaa kantavaan pohjaan tai kallioon asti paalun tavoite-tasoa alempana mahdollisesti olevien löyhempien maakerrosten selvittämiseksi sekä vertailevaa teknistaloudellista selvitystä varten. Erittäin paksujen maakerrosten alueella osa pohjatutkimuksista voidaan tehdä määräsyvyisinä.

Maakerroksista, joihin paalut tukeutuvat, on otettava maanäytteitä rakeisuuden määrittämistä varten.

Pohjavedenpinnan taso sekä mahdollinen paineellinen pohjavesi paalua kantavassa kerroksessa on määritettävä.

Kitkapaalujen geotekninen kantavuus ja loppulyöntikriteerit on selvittettävä kerroksittain tai syvyystasoinen koepaalutuksilla ja tarvittaessa koekuormituksilla.

Lujuus- ja painumaominaisuudet

Pehmeiden maakerrosten osalta on suoritettava riittävä määrä siipikairauksia ja lujuuden määrittystä tukevia indeksikokeita. Suljettu leikkauslujuus määritetään redusoidulla siipikairauslujuus. Erittäin vaativissa kohteissa (GL3) tehokkaat lujuusparametrit määritetään kolmiaksiaalikokeilla. Käytettäessä tehokkaita lujuusparametreja on alueen huokosvesipaineolosuhteet selvitettävä riittävin tutkimuksin.

Painumaominaisuudet määritetään ödometrikokeilla. Likimääräisiä menetelmiä (esim. vesipitoisuusmenetelmä) voidaan käyttää vähän painuvissa kohteissa, joissa painumien vaikutus valittuun rakenneratkaisuun todetaan vähäiseksi.

2.3 Tutkimukset maaperän- ja maaperäolosuhteiden ympäristörasituksista ja korroosiosta

Pohjamaan ympäristöolosuhteiden aggressiivisuus arvioidaan pohjatutkimusten, geologisten tietojen sekä mahdollisten muiden tietojen perusteella. Ympäristöolosuhteiden aggressiivisuus ja teräksen korroosioriski selvitetään aina tutkimuksin, kun pohjatutkimusten ja geologisten olosuhteiden perusteella edellä mainitut riskit ovat mahdollisia. Näiden erityistutkimusten avulla määritetään betonin rasisluokka ja teräksen korroosionopeus.

Korroosioriskin ja ympäristörasitusten arviointi sekä tutkimukset tehdään ohjeen *Sil-lan geotekninen suunnittelu* ja julkaisun *Paalutusohje 2011* mukaisesti.

Puupaalujen kyllästystarpeen ja -tavan määrittämistä varten on selvitettävä alin odotettavissa oleva pohjavedenpinnan korkeusasema sekä mahdollinen jätevesien vaikutus.

3 Paalulaatta- ja paaluhatturakenteet ja niiden käyttöalueet

3.1 Yleistä

Perustamistavan valinta tehdään teknistaloudellisten vaihtoehtoverailujen perusteella ottaen huomioon paikalliset olosuhteet ja ympäristötekijät sekä tie- tai rautatiealueen käytettävissä oleva leveys erityisesti taajama-alueilla. Paalulaattarakenne edustaa ratkaisua, jonka käyttö on perusteltua vaikeissa pohjasuhteissa vaihtoehtoisien perustamismenetelmien ollessa teknisesti riittämättömiä tai taloudellisesti liian kalliita. Paaluhatturakenne soveltuu lähinnä korjausrakentamiseen.

Radan paalulaatan maadoitustarve tulee selvittää hankekohtaisesti.

Penkereen korkeus

Paalulaatan korkeustasolla tarkoitetaan paalulaatan ylimmän yläpinnan korkeus-asemaa.

Penkereen korkeudella tarkoitetaan tien yläpinnan tai radan korkeusviivan ja paalulaatan korkeustason välistä mitta.

Tierakenteessa paaluhattuja käytettäessä penkereen korkeuden on oltava vähintään kolminkertainen hattujen rakoväliin nähden, kuitenkin vähintään 2,1 m. Tämä vaatimus koskee myös yhteen valettuja paaluhatturakenteita.

3.2 Paalulaattarakenne

Paalulaattarakenne on yhtenäinen paaluilla perustettu teräsbetoninen laatta, jonka päällä on pysyvä kuormana maapenger. Sen voidaan katsoa olevan painumaton rakenne.

Paalulaattaa käytetään kohteissa, joissa muiden pohjavahvistustapojen käyttö ei ole teknisesti mahdollista tai taloudellisesti perusteltua. Tyypillisiä kohteita, joihin paalulaatta soveltuu, ovat:

- syvät, pehmeät pehmeiköt, joissa massanvaihto ei tule kysymykseen viereisten rakennusten tai muiden massanvaihdon toteuttamisesta ympäristölle aiheutuvien vaikutusten takia
- korkeat, pehmeällä maaperällä sijaitsevat pehmeiköt, joiden stabiliteettia ja tavoitepainumaa on vaikea muuten saavuttaa
- siltojen tulopenkereet ja keilat. Laatta mukautuu hyvin epäsäännölliseen paaluväliin ja korkeustason vaihtelevuuteen.
- kohteet, missä tien tai radan läheisyydessä on haitalliselle tärinälle alttiita rakenteita

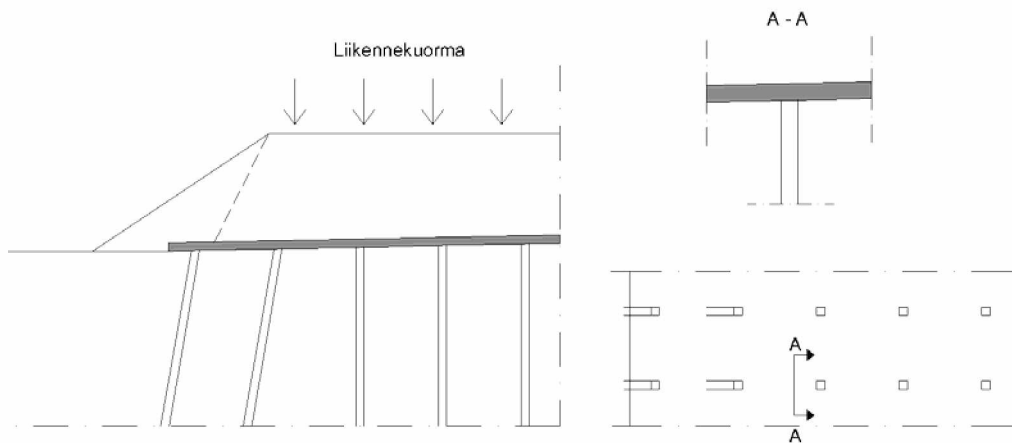
Tavallisimmin käytettyjä paikalla valettuja laattatyyppejä ovat tasapaksu laatta, sienilaatta ja palkkilaatta. Tasapaksu laatta voi olla leikkausraudoitettu tai leikkausraudoittamaton. Sienilaatassa myös välilaatta raudoitetaan kahteen tasoon. Paalulaatta on suunniteltava tehtäväksi yhtenä valuna. Jos valu suunnitellaan tehtäväksi vaiheittain, on laatan eri aikaan valettujen osien toiminta liittorakenteena varmistettava. Useammassa valuvaiheessa toteutettaessa paalulaatta on suunniteltava toteutuksen mukaiset työvaiheet huomioon ottaen. Valualustan kantavuus on aina otettava huomioon laattatyyppejä valittaessa. Erityisesti heikosti kantavilla pehmeiköillä on kiinnitettävä huomioitava valualustan painumaan betonin sitoutumisen aikana.

Tasapaksu laatta (kuva 3.1) on laattatyypeistä yksinkertaisin rakentaa, mistä on etua nopeassa rakentamisessa. Lisäksi se sallii paremmin paalujen sijaintipoikkeamaa kuin muut laattatyypit. Se on kuitenkin poikkileikkaukseltaan massiivisempi kuin sien- tai palkkilaatta. Tasapaksu laatta ei ole myöskään rakenteellisesti edullisin, koska laatan paksuus valitaan etenkin leikkausraudoittamattomissa laatoissa useimmiten paalun läpileikkautumisen mukaan.

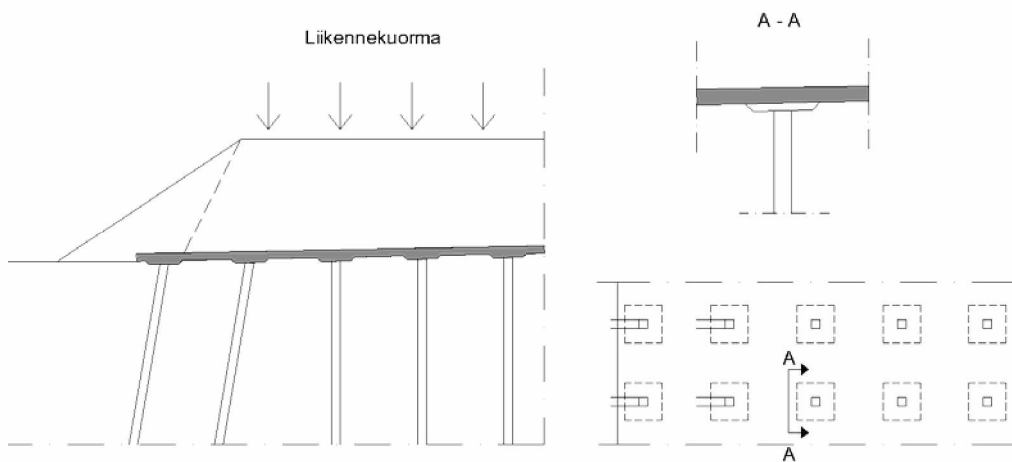
Sienilaatta (kuva 3.2) on Suomessa yleisimmin käytetty paalulaattarakenteen laattatyyppeistä. Sienilaatan rakentaminen poikkeaa muista laattatyypeistä olennaisesti siinä, että sen rakentaminen vaatii enemmän työtunteja laatan sieniosan valmistamiseen. Paalutuksen jälkeen paalulaatan alustäyttöön erilaisin muotokappalein tai muotoilevin laittein muodostettavat sienet ovat muodoltaan yleisesti katkaistuja nelikulmaisia kartioita. Sienilaatan muoto on rakenteellisesti tasapaksua laattaa edullisempi. Sienilaatan muodon ollessa rakenteellisen kapasiteetin kannalta lähellä optimia, voidaan sen heikkoutena pitää herkkyyttä sijainti- ja mittapoikkeamille. Jos laatan sieniosat ja laattaosa valetaan eri vaiheissa, niin se on otettava huomioon jo suunnittelussa.

Palkkilaatta (kuva 3.3), jonka rakenteellinen toiminta perustuu palkkiosan palkkien suuntaiseen ja laattaosan palkkeja vastaan kohtisuoraan pääraudoitukseen. Palkkikaistat voidaan rakentaa joko muottien avulla tai muotoilemalla palkkiosa työalustaan. Palkkilaatan etuna voidaan pitää sen rakenteellisen mallinnuksen selkeyttä ja säästöjä raudoitemäärissä. Palkkilaatta mahdollistaa myös muita laattatyyppejä suurempien paalukokojen hyödyntämisen. Palkkilaatan heikkoutena voidaan pitää rakenteen herkkyyttä paalujen sijaintipoikkeamille kohtisuorassa palkkikaistaa vastaan sekä rakenteen sienilaattaa suurempaa betonimenekkiä ja muotituksen osalta kalliimpia työkustannuksia kuin tasapaksulla laattalla.

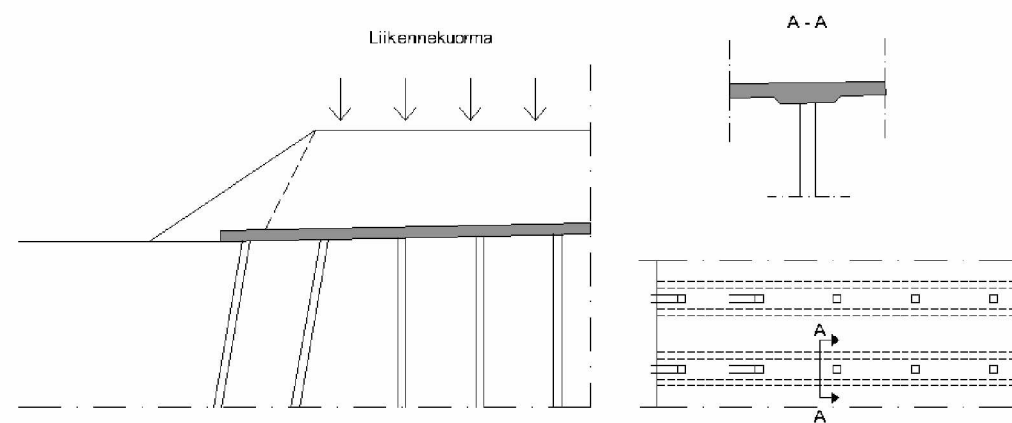
Kuvissa 3.1–3 on esitetty esimerkkejä eri laattatyypeistä.



Kuva 3.1: Tasapaksu laatta



Kuva 3.2: Sienilaatta



Kuva 3.3: Palkkilaatta

Ratarakenteissa voidaan käyttää myös elementtirakenteisia tyyppiratkaisuja, joista toteutettuja tyypejä ovat palkkilaatta, kolmen paalun laatta ja neljän paalun laatta. Kolmen ja neljän paalun tyyppiratkaisuja käytetään ainoastaan pienillä alueilla kuten siltojen taustarakenteissa, kun paalulaatan paaluilla ei tarvitse ottaa vastaan junien vaakakuormia. Elementtien kiinnittäminen toisiinsa on suunniteltava tapauskohtaisesti.

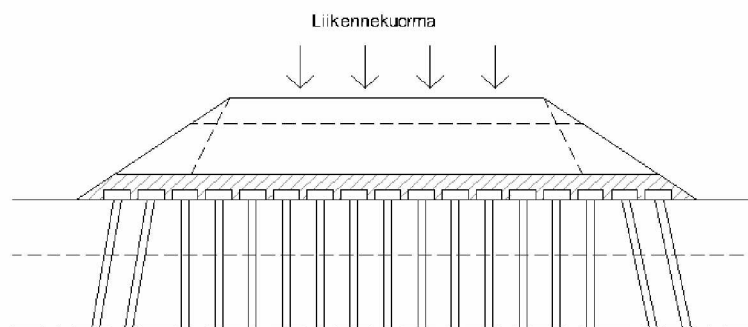
Laattatyyppin valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat laatan massoihin liittyvien kustannusten lisäksi laatan muoto, alustatyön vaikeus, laatan muotitustarve, raudoitustyön vaikeus sekä mahdollinen varautuminen paalujen epätasaisiin painumiin.

3.3 Paaluhatturakenne

Paaluhatturakenne (kuva 3.4) on erillisten paaluilla perustettujen paaluhattujen muodostama rakenne. Paaluhatturakenne muodostuu paaluhatuista ja paaluista sekä hattujen päälle ja väliin rakennettavasta kuormaa jakavasta kerroksesta, jonka alaosa toimii paaluhattujen suojakerroksena. Kuormaa jakavan kerroksen rakenne on tarkemmin kuvattu tämän ohjeen kohdassa 6.1.2. Paaluhattujen rakoväli tiekohteissa on 0,3–0,7 m.

Paaluhatturakenteisiin luetaan myös elementeistä koottavat paalulaatat, joissa laattaelementit asennetaan tiiviisti joko 3 tai 4 paalun varaan. Näitä käytetään vain rata-rakenteiden korjaus- ja parannuskohteissa, erityisesti sivusta siirrettävien siltojen taustarakenteina.

Rakenteeseen voidaan lisäksi katsoa kuuluvan erilaiset lujitteet kuten teräksiset tai synteettiset lujiteverkot ja -kankaat, joiden tarkoituksena on tehostaa kuormien holvautumista paaluhatuille sekä kannattaa paaluhattujen välissä olevaa penkereen osaa tämän ohjeen mitoitusperusteita suuremmilla hattujen rakoväleillä. Lisäksi geolujite varmistaa holvautumisen säilymisen dynaamisesti kuormitetussa penkereessä. Paaluhatturakenteeseen sijoitettavat geolujitteet suunnitellaan hankekohtaisten suunnitteluperusteiden mukaisesti ja suunnittelussa voi käyttää apuna opasta *Geolujitetut maarakenteet*.



Kuva 3.4: Paaluhatturakenne

Tyypillisiä paaluhattukohteita ovat kiinteät savikot, joissa pehmeän kerroksen leikkauslujuus on riittävä estämään hattujen välissä olevan materiaalin valumista sekä riittävä tukemaan paaluja ja paaluhattuja rakentamisvaiheessa ja sen jälkeen.

Tierakenteissa paaluhatturakennetta voidaan käyttää, kun saven redusoitu siipikairauslujuus on vähintään 15 kPa ja kun leikkaustason alle jää kuivakuorta vähintään 1 m. Kuivakuoren puuttuessa saven leikkauslujuuden on oltava vähintään 20 kPa. Penkereen vakavuus ilman paaluhatturakennetta on oltava vähintään 1,0 ominaisarvoilla laskettuna. Paaluhattujen alla oleva maapohja ei saa hattujen asentamisen jälkeen painua yli 100 mm.

Sillan taustapenkereellä paaluhatturakenteen käyttö sallittu vain, jos se on sallittu hankekohtaisissa suunnitteluperusteissa. Sillan taustapenkereeksi katsotaan nelinkertaisen pengerkorkeuden pituinen osuus maatuen takana, kuitenkin vähintään 10 metriä. Sillan keiloissa paaluhatturakennetta voidaan käyttää, kun saven leikkauslujuus kuivakuoren alla on vähintään 20 kPa.

Paaluhatturakennetta ei saa käyttää turve- eikä liejupehmeiköllä. Paaluhatturakenteella ei voida siirtää merkittäviä vaakakuormia. Vinopaalut siirtävät jonkin verran vaakakuormia maaperään, mutta merkittäviä vaakakuormia käsittävät rakenteet on suunniteltava paalulaatalle.

Paaluhatturakenteen käytön edellytys on symmetrinen penkereen poikkileikkaus ja yleispiirteiltään tasainen ja vaakasuora maapinta. Paaluhatturakenne soveltuu huonosti kohteisiin, joissa varaudutaan penkereen myöhempään leventämiseen.

Ratarakenteissa varsinaisia paaluhattuja voidaan käyttää vain nykyisten paaluhatturakenteiden laajentamiseen tai korjaamiseen, koska vaakakuormat (jarrukuormat) ovat erityisen isoja. Tällöin maaperän lujuus- ja painumaominaisuuksien on täytettävä yllä olevat tierakenteille esitetyt vaatimukset.

Pystypaalujen varaisia kolmio- tai suorakaide-elementtilaatoista koottuja laatastoja voidaan käyttää paalulaatan korvaavina rakenteina vain lyhyillä matkoilla. Tällöin oletetaan, että liikenteen vaakakuormat siirtyvät penkereen ja kiskojen välityksellä elementtilaataston ulkopuolelle. Radan linjauksen tulee olla suora elementtipaalulaatan kohdalla. Elementtilaattojen pienin sallittu pengerkorkeus on 1,4 m.

Paaluhatturakenteen ja elementtilaastojen käyttökelpoisuuden arviointi ja rakenteellinen mitoitus tehdään hankekohtaisesti ja niiden käyttö määritetään hankekohtaisissa suunnitteluperusteissa.

4 Paalujen, laatan, hattujen ja varusteiden laatuvaatimukset

Pohjanvahvistuksissa ja pohjarakenteissa käytettäviltä tuotteilta ja materiaaleilta vaadittavat ominaisuudet ja ominaisuuksia vastaava suorituskky määritetään suunnitelmassa hankekohtaisten suunnitteluperusteiden sekä eurokoodijärjestelmän standardien, standardien kansallisten liitteiden, Liikenneviraston ohjeiden ja teknisten laatuvaatimusten mukaisesti.

Suunnitelmassa tulee huomioida materiaaliominaisuuksien muuttuminen (säilyvyys) käyttöiän aikana.

InfraRYL:n yleisiä materiaali- ja tuotekohtaisia laatuvaatimuksia noudatetaan, elleivät ne poikkea em yleisistä tai hankekohtaisista ohjeista.

InfraRYL 2006 Osa 3 sisältää laatan betonirakenteita koskevat materiaalivaatimukset on esitetty luvuissa 42020 ja 42210. Betonielementtirakenteissa noudatetaan lisäksi luvun 42030 vaatimuksia ja ohjeita.

Paalujen materiaalien ja varusteiden vaatimukset on esitetty ohjeen Paalutusohje 2011 osan 1 kohdassa 2.5 ja materiaalien sekä varusteiden laatuvaatimukset osan 2 kohdassa 3. Paalujen ja varusteiden materiaalivaatimukset on esitetty myös InfraRYL 2010 Osa 1 luvussa 13200 Paaluperustukset.

Kantavissa rakenteissa käytettävän tuotteen tai materiaalin kelpoisuuden toteaminen edellyttää, että seuraavat asiat on varmistettu:

- tuoteominaisuudet (materiaaliominaisuudet) ja niiden suoritustaso
- suoritustason pysyvyys valmistuksessa

Suoritustaso ja suoritustason pysyvyys valmistuksessa pitää osoittaa CE-merkinnällä silloin, kun tuoteryhmälle on laadittu harmonisoitu tuotestandardi. Harmonisoidun tuotestandardin puuttuessa suoritustaso ja suoritustason pysyvyys valmistuksessa voidaan osoittaa ETAG-menettelyn kautta hankitulla CE-merkinnällä tai Liikenneviraston ohjeissa hyväksytyllä varmennustodistuksella tai muulla Liikenneviraston hyväksymällä tavalla. Myös CE-merkittyihin tuotteisiin voi sisältyä osia, joille Liikennevirasto on asettanut teknisiä vaatimuksia. Tällaisia osia ovat mm paalujen varusteet.

Kelpoisuuden lisäksi varmistetaan jo suunnitteluvaiheessa tuotteen tai materiaalin soveltuvuus käyttökohteeseen. Tämä tarkoittaa, että käytetään tuotteita ja materiaaleja, joiden suoritustaso täyttää suunnitelmassa ominaisuuksille asetetut vaatimukset.

5 Kuormat

5.1 Yleistä

Paaluhattu- ja paalulaattarakenteen rakenteellisessa ja geoteknisessä mitoituksessa tulee ottaa huomioon kaikki rakenteeseen vaikuttavat kuormat ja kuormien yhdistelyt ohjeiden *NCCI 1*, *NCCI 7*, *RATO osa 3* sekä tässä luvussa esitettyjen periaatteiden mukaisesti.

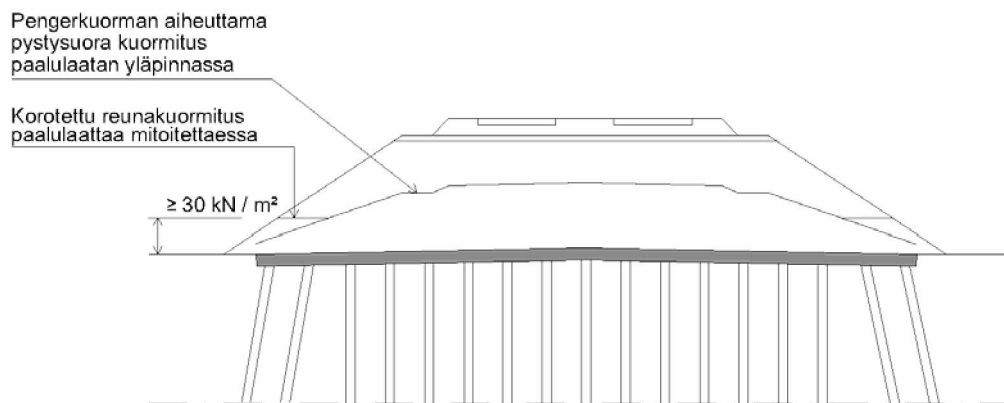
5.2 Laatan ja hattujen kautta paaluille siirrettävät kuormat

5.2.1 Penkereen ja rakenteiden oma paino

Penkereen ja rakenteiden oman painon oletetaan siirtyvän paaluille. Maassa olevan paalun painoa ei tarvitse ottaa huomioon.

Pengerkuorma lasketaan penkereen muotoisena jakautuneena pystykuormana penkereen keskimääräisen tilavuuspainon ja pengerkorkeuden avulla. Pystysuoran kuorman voidaan olettaa jakaantuvan kuvan 5.1 mukaisesti.

Pengerkorkeus määritetään hattujen tai paalulaatan yläpinnasta tierakenteen yläpintaan tai radan korkeusviivaan.



Kuva 5.1. Penkereen painosta aiheutuvan pystysuoran kuorman jakautuminen paalulaatalle

Reuna-alueella kuormaa korotetaan kuvan 5.1 mukaisesti. Reuna-alueen kuorman korotuksella otetaan huomioon enintään 1,0 m laatan yläpuolelle ulottuva huoltotie sekä tavanomaiset, 10 kN/m² suuruista tasaista pinta-kuormaa vastaavat, työkonemuomat huoltotiellä ja penkereellä. Mahdolliset sivulta tehtävät ajorampit penkereen päälle on kuitenkin suunniteltava erikseen. Reuna-alueella kuorman on oltava vähintään 30 kN/m² (kts myös kohta 5.2.4).

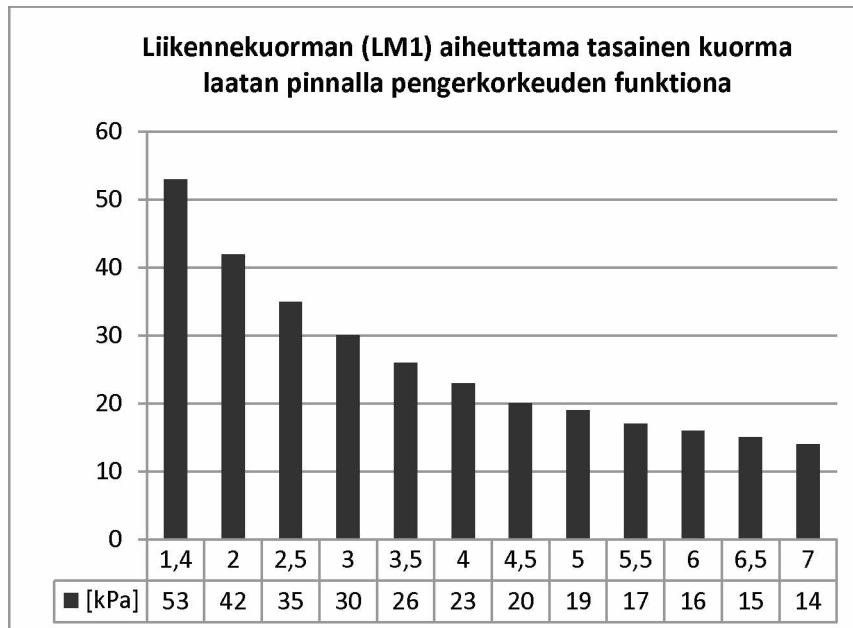
Materiaalien tilavuuspainoja on esitetty ohjeissa *NCCI 1* ja *Sillan geotekniset suunnitteluperusteet*.

5.2.2 Liikennekuormat

Pystysuorat liikennekuormat, tierakenne

Rakenteisiin kohdistuvana liikennekuormana käytetään kuormakaavioon LM1 perustuvaa kuormaa (kuva 5.2). Kuvan pylväsdiagrammissa kuorman jakautumisen laskenta perustuu oletuksiin, että

- LM1:n telikuorma jakaantuu penkereessä Boussinesqin teorian mukaan
- kuormaan (LM1) sisältyy dynaaminen lisä ($\approx 30\%$)



Kuva 5.2. Liikennekuorman LM1 aiheuttama tasainen pystykuorma pengerkorkeuden funktiona

Kuvan 5.2 kaavion käyttörajoitukset ja käyttöohjeet ovat seuraavat:

- Halkeamalaskentaa varten käyttörajatilan tavallinen arvo saadaan kertomalla kaaviosta saatu arvo luvulla 0,68
- LM1:n pitkäaikaisarvona voidaan käyttää arvoa 0 kN/m^2
- Kaavion väliarvot interpoloidaan
- Kaaviosta saatuja arvoja voidaan käyttää kun pengerkorkeus $\geq 1,4 \text{ m}$
- Kun käytetään kaavion arvoja, ei paalulaattaa tarvitse mitoittaa väsytykselle (mikäli käytetään tavanomaista raudoitusta)
- Kaaviosta saatavia liikennekuorman pystykuorman arvoja voidaan soveltaa myös muille maanalaisille rakenteille

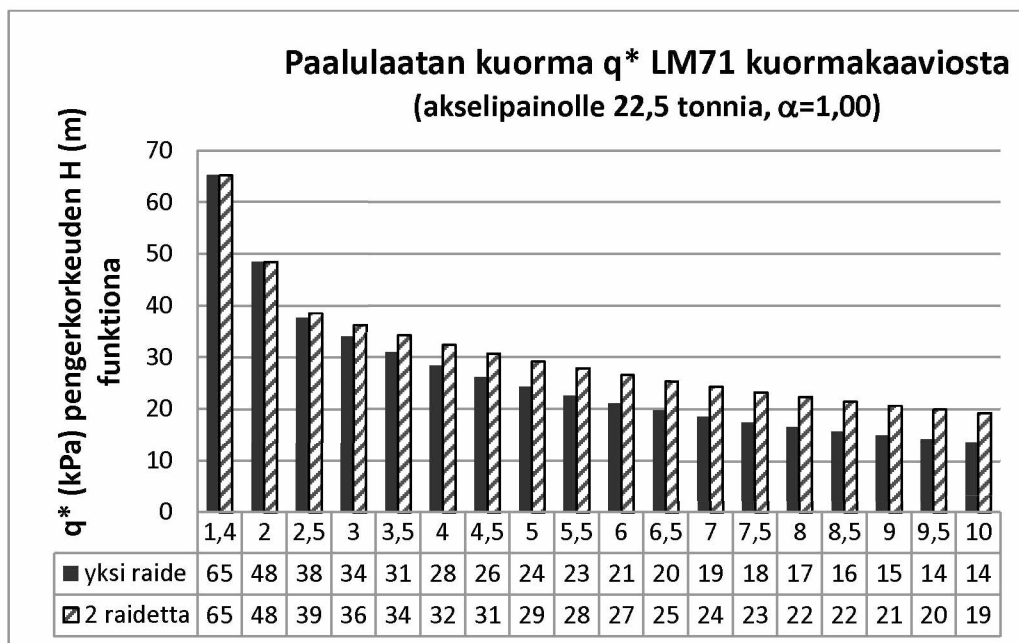
Liikennekuorman täyden kuormitusintensiteetin vaikutusalue rajataan luiskassa ajoradan reunasta kaltevuudessa 2:1 tai loivemmin piirretyn suoran avulla. Tämän alueen ulkopuolella laatan reuna-alueella kuorman on oltava vähintään 30 kN/m² (ks. kohdat 5.2.1 ja 5.2.4). Normaalila leveämmälle keskikaistalle rakennettavan laatanosan kuormitusintensiteetti määritetään hankekohtaisissa suunnitteluperusteissa.

Työnaikaiset kuormat, katso kohta 5.2.4.

Pystysuorat liikennekuormat, ratarakenne

Rakenteisiin kohdistuvana liikennekuormana käytetään kuormakaavioon LM71 perustuvaa kuormaa (kuva 5.3). Kuvan pylväsdiaagrammissa kuorman jakautumisen laskenta perustuu oletuksiin, että

- LM71 akselikuormat on jaettu tasan nauhakuormaksi 6,4 metrin matkalle ohjeessa RATO 3 esitetyllä tavalla
- Kuorman poikittainen jakautumisesta penkereessä kuvan 5.3 mukaisesti (perustuu Oikoradan selvityksiin kuorman poikittaisesta jakautumisesta penkereessä)
- Akseleiden aiheuttama lisäkuorma jakautuu penkereessä pituussuunnassa 30° kulmassa (1,73:1)
- Dynaamisena lisänä on käytetty 1,67 kun $H = 1,4$ m ja 1,25 kun $H \geq 2,5$ m (väliarvot on interpoloitu diagrammissa)
- Raidevälinä on käytetty 4,5 metriä (pienin normaalisti käytetty raideväli)



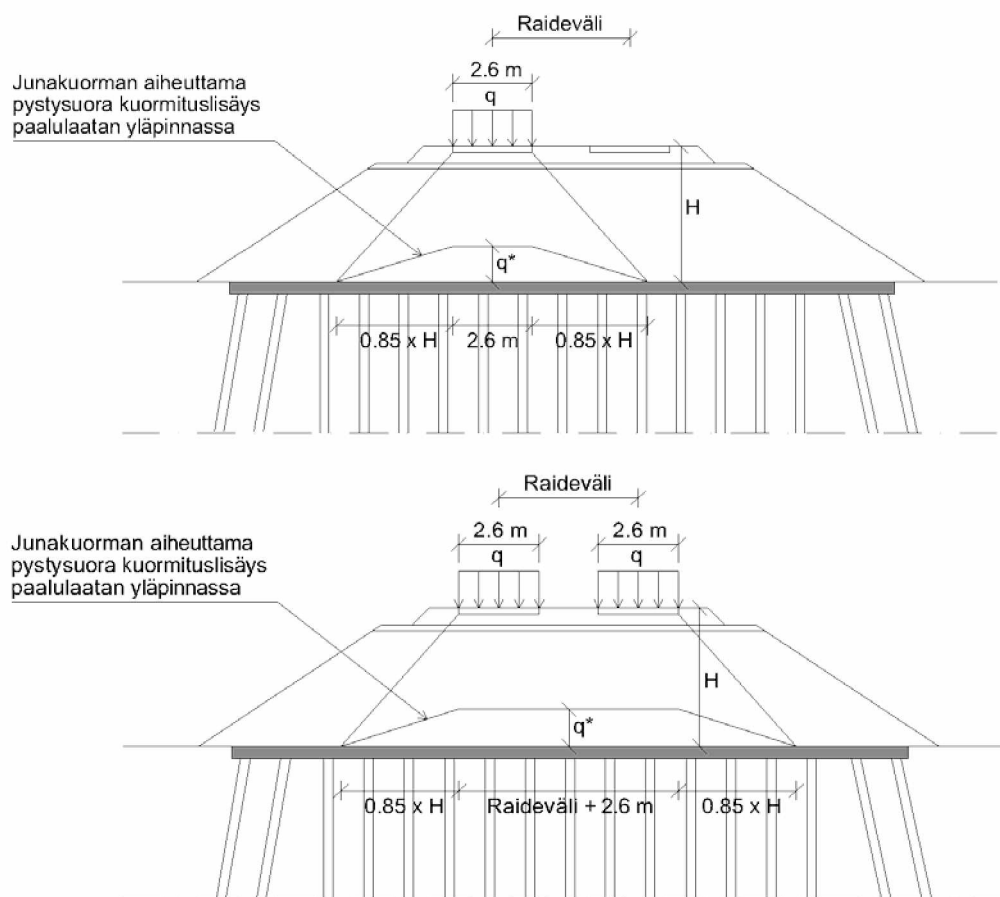
Kuva 5.3. Junakuorman LM71 aiheuttama tasainen pystykuorma pengerkorkeuden funktiona

Paalulaattojen ja paaluhatturakenteiden suunnittelu

Kuvan 5.3 kaavion käyttörajoitukset ja käyttöohjeet ovat seuraavat:

- Kaaviosta saatava kuorma on kerrottava *NCCI 1 taulukossa B.6* esitetyllä luokittelukertoimella (α)
- Halkeamalaskentaa varten käyttörajatilan tavallinen arvo saadaan kertomalla kaaviosta saatu (α :lla kerrottu) arvo luvulla 0,8
- LM71:n pitkäaikaisarvo on 0 kN/m²
- Kaavion väliarvot interpoloidaan
- Kaaviosta saatuja arvoja voidaan käyttää kun pengerkorkeus $\geq 1,4$ m
- Kun käytetään kaavion arvoja, ei paalulaattaa tarvitse mitoittaa väsytykselle (mikäli käytetään tavanomaista raudoitusta)
- Mikäli pengerkorkeus on pienempi kuin 1,4 m on pengerlaatta käsiteltävä silta-rakenteena. Kuormien jakauma on tällöin määritettävä tarkemmin (ks. *NCCI 1 kappale 6.3.6*) ja rakenne on mitoitettava väsytykselle.

Työnaikaiset kuormat otetaan huomioon kohdan 5.2.4 mukaisesti.



Kuva 5.4. Pystysuoran junakuorman jakautuminen paalulaatalle ratapenkereen poikkisuunnassa

q on kuormitustapausta vastaava nauhakuorma

H on pengerkorkeus

q^* on pengerkuorman aiheuttama pystysuora jännityslisäys raiteen alapuolella

Vaakasuorat liikennekuormat tie- ja ratarakenteissa

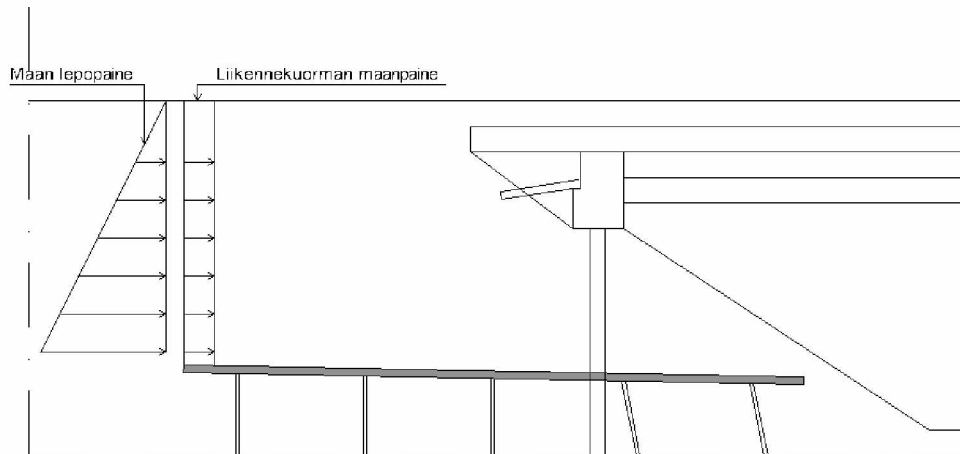
Liikennekuormien vaakakuormien intensiteetti määritetään paalulaattojen mitoituksessa eurokoodin soveltamisohjeen *NCCI 1* mukaisesti. Paalulaattojen mitoituksessa on lisäksi otettava huomioon keskipakovoimasta ja sivusuuntaisesta sysäyksestä aiheutuvat voimat.

Jarrukuormaa ja sivusysäyskuormaa laskettaessa laskentapituutena käytetään liikuntasaumoin erotetun laatan osan pituutta.

Keskipakovoima sijoitetaan ohjeessa *NCCI 1* esitetyllä tavalla.

5.2.3 Maanpaine ja pystykuormien vaakavaikutukset

Vaakasuoria kuormia aiheuttavat mm. väylän viereiset täytöt, viereisen ajoradan penger ja penger väylän pituussuunnassa (kuva 5.5). Pystysuora liikennekuorma aiheuttaa maanpaineekuorman (kuva 5.5).



Kuva 5.5. Paalulaattaan penkereestä kohdistuva kuormavaikutus otetaan vino-paaluilla.

Paalulaatan tai paaluhatturakenteen päällä olevaan penkereeseen maan omasta painosta ja liikennekuormasta syntyvä sisäinen vaakavoima (halkaisuvoima) lasketaan lepopaineena kaavan 5.2 mukaan.

$$F_{H,k} = K_0 \times \left(\gamma_m \times \frac{H^2}{2} + q_k \times H \right) \quad (5.2)$$

$F_{H,k}$ on vaakakuorman ominaisarvo

H penkereen korkeus laatan tai paaluhatturakenteen yläpinnasta rakenteen ulkoreunassa

γ_m penkereen keskimääräinen tilavuuspaino

K_0 lepopaine kerroin, lasketaan *NCCI 7 kohta 5.4.1.2* mukaan

q_k liikennekuorma; tiellä liikennekuorman arvona voidaan käyttää 20 kN/m² ja kevyen liikenteen väylällä 10 kN/m² sekä radalla 30 kPa tukipenkereen leveydelle jaettuna

Penkereeseen kohdistuvat ulkoiset vaakakuormat siirtyvät paalulaatan tai paaluhatturakenteen paaluille. Paalulta kuormat siirretään maaperään 6.4.4 mukaisesti.

Laatan päällä olevasta penkereestä sekä liikennekuormasta kaavan 5.2 mukaan penkereeseen syntyvä halkaisuvoima on otettava laatan raudoituksella (ks. kohta 6.3.1).

Penkereen rakentaminen aiheuttaa aina epäsymmetrisen kuormituksen. Pengerrettävän kerroksen paksuus saa olla enintään 1 m, ellei suunnitelmassa ole muuta esitetty. Jos kerroksen paksuus on yli 1 m, kuormituksen vaikutus on huomioitava mitoituksessa. Epäsymmetrisiä tapauksia syntyy myös korjausrakentamisessa purettaessa ja rakennettaessa vaihteittain.

5.2.4 Työnaikaiset kuormitukset

Työnaikaiset tilanteet tutkitaan aina tapauskohtaisesti kulloinkin käytettävien kone-tyyppien, työnaikaisen pengerkorkeuden ja reunan ylityspaikkojen suhteen. Mitoitustarkastelu tehdään sekä murtorajatilassa, että käyttörajatilassa. Murtorajatilassa työkoneluorman osavarmuusluku on 1,50. Sysäysten vaikutus otetaan huomioon kertomalla työkoneluormitukset (ominaiskuormat) kertoimella 1,4. Pistemäisten kuormien voidaan otaksua jakautuvan kaltevuudessa 1,73:1 (30°). Työnaikaisten, laattoihin kohdistuvien kuormitustilanteiden ja työnaikaisten liikennöintialueiden tarkastelut esitetään suunnitelmissa ja laskelmissa työvaiheen suunnittelun yhteydessä. Työkoneluormien kuormitusesimerkkejä on esitetty ohjeessa *Rakenteiden kuormitusohjeet, RIL-144*.

Alustavia mitoitustarkasteluja voidaan tehdä seuraavilla tavanomaisilla raskaiden työkoneiden kuormituksilla. Lopullinen tilanne on aina tarkastettava toteutuvilla kuormilla.

- Raskaita työkoneita ovat raskaat autonosturit, dumpperit, kaivinpaalutuskoneet ja muut raskaat paalutuskoneet.
- Raskaiden hirtävien kaivinpaalukoneiden kokonaispaino on noin 800 kN, joka jakautuu liikkumisen aikana noin 4x5 m² alueella.
- Kaivinpaalun teon aikana kuorma keskittyy pistemäisille tuille (tassut), jolloin etutassun suurin kuorma voi olla 600 kN ja takatassun 200 kN. Kaivinpaalutuskoneiden kuormia arvioitaessa on otettava huomioon työputken maasta noston aiheuttama kuorma.
- Tavanomaisten lyöntipaalutuskoneiden painon voidaan otaksua jakautuvan koneen liikkua 5 x 5 m² suuruiselle alueelle. Tällöin tasainen pintakuorma tasaisesti jakautuneena on noin 25 kN/m². Työn aikana kuormitukseen vaikuttavat paalutuskaluston kokonaispaino, ylävaunun asento teloihin nähden, telojen leveys, keilin vaakasijainti ja keilin kallistukset sekä järkäleen ja paalun painot. Tavallisissa käyttötilanteissa telaketjun pohjapaine vaihtelee välillä 70...310 kN/m² teräsbetonipaaluja ja pieniläpimittaisia teräspaaluja käytettäessä ja 80...380 kN/m² välillä teräksisiä suurpaaluja käytettäessä. Em. pohjapainearviot pätevät, kun paalutuslaitteiston kokonaispaino paaluineen on 40...80 tonnin välillä. Ylärajan pohjapaine on määritetty oletuksella, että paalutustyön aikana paino voi kohdistua 1/4 pinta-alalle telojen kokonaispinta-alasta.
- Dumppereiden suurin kokonaispaino on yleensä noin 700 kN. Kuormasta jakautuu tavallisesti noin 70 % taka-akselille, jolloin suurin akselikuorma on noin 430 kN ja suurin pyöräkuorma 215 kN.

Ratarakenteiden osalta noudatetaan myös *RATO 3 kohta 3.8.3* ohjeita.

5.3 Muut paaluihin vaikuttavat kuormat

Paalutusalueelle tulevat maarakenteet ja muut rakenteet on suunniteltava niin, että pyritään eliminoimaan pohjamaan siirtymisestä paaluihin kohdistuvat kuormat.

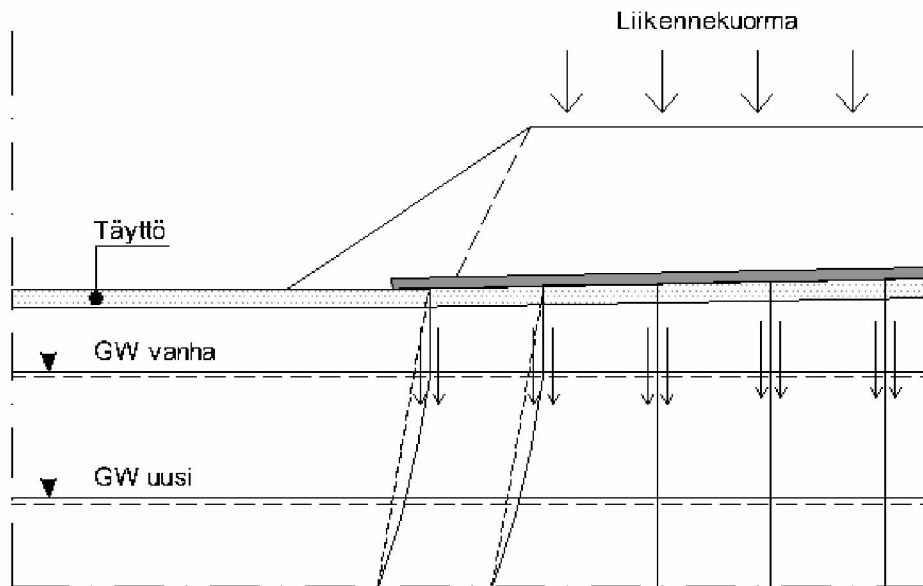
Muut paaluille tulevat kuormat voivat olla puristusrasituksia (mm. negatiivinen vaippahankaus) tai taivutus- ja leikkausrasituksia, joita voi syntyä sekä pysty- että vino-paaluille mm. työalustasta ja pohjaveden alentamisesta.

Mikäli pohjamaan siirtymät vaikuttavat rakenteeseen, on rakenne mitoitettava siirtymistä aiheutuville kuormille niin, ettei niistä aiheudu paaluille haitallisia rasituksia.

Negatiivinen vaippahankaus (kuva 5.6) otetaan huomioon ohjeen *NCCI 7* mukaisesti. Kuorman suuruuden laskenta on esitetty ohjeessa *Paalutusohje 2011*. Kuorman osavarmuusluku on pysyvän kuorman mukainen ja sitä ei yhdistetä liikennekuorman kanssa. Negatiivinen vaippahankaus syntyy, kun maa paalun ympärillä painuu enemmän kuin paalu.

Negatiivisen vaippahankauksen vaikutus paalun painumaan on otettava huomioon kuten pysyvä kuorma.

Painuma saattaa aiheutua mm. täytemaan painosta ja pohjaveden alenemisesta tai itse paalutustyön vaikutuksesta. Paalujen asennus pehmeään, normaalisti konsolidoituneeseen saveen aiheuttaa tavallisesti maanpinnan nousua ja sen jälkeen painumaa. Maapohjan painuma aiheuttaa vinoille paaluille lisäksi taivutus- ja leikkausrasituksia, joita voidaan arvioida *Paalutusohjeessa 2011* esitettyjen paalujen sivuvastusten ääriarvojen perusteella. Pystysuorille paaluille ei yleensä aiheudu vähäistä suurempia taivutus- tai leikkausrasituksia.



Kuva 5.6. Paalulaatan alla olevan täytteen aiheuttama maapohjan painuminen aiheuttaa pystypaaluissa negatiivista vaippahankausta. Vinopaaluihin kohdistuu lisäksi merkittävää taivutus- ja leikkausrasitusta.

Taivutus- ja leikkausrasituksia maasta paaluun aiheuttavaa sivukuormaa voidaan arvioida murtotilaan perustuvilla vakavuus- ja maanpainetarkasteluilla, joilla saadaan kuorman maksimi-arvot. Paalun sivukuorma on suurimmillaan silloin, kun maa leikkautuu paalun ohi. Yksittäisen paalun läpileikkautumiskuorma voidaan laskea *Paalutusohje 2011 kappale 4.6* kuva 4.11 mukaisesti.

Sivukuorman suuruutta ennen paalun leikkautumista maan läpi voidaan arvioida kimmoteoriaan perustuvilla alustaluku- ja moduulimenetelmillä. Lähtötietoina tarvitaan tällöin maan suhteellinen siirtymä paaluun nähden ja maan vaakasuora alustaluku tai kimmomoduuli. Sivukuorma ei voi missään tilanteessa ylittää murtotilataarkastelulla saatua arvoa. Menetelmää on käsitelty tarkemmin *Paalutusohje 2011:n* kappaleessa 4.6.

Sivukuorman määrittämisen jälkeen paalu mitoitetaan taivutukselle ja leikkausvoimalle ko. paalumateriaalia koskevien ohjeiden mukaisesti.

Toispuoleisen maanpaineen aiheuttama sivukuorma ja maan ja paalun välinen yhteistoiminta voidaan määrittää numeerisiin menetelmiin perustuvilla tietokoneohjelmillä.

Paalutustyöstä paaluille aiheutuvat kuormat on otettava huomioon suunnittelussa. Ensisijaisesti on suunnittelun keinoin pyrittävä eliminoimaan tällaisten kuormien ja siitä paaluille mahdollisesti aiheutuvien siirtymien syntyminen.

Merkittäviä kuormia voi syntyä erityisesti maata syrjäyttävien paalujen asennuksessa.

Paalutus voi aiheuttaa lisäksi huokosveden ylipainetta, mutta sen suuruuteen ja purkautumisnopeuteen voidaan vaikuttaa monin eri keinoin. Huokospaineen purkautumisesta voidaan edistää esimerkiksi asentamalla pystyjoaliuskat paalujen kylkiin, valitsemalla pieniläpimittainen paalu tai poistamalla maata paalun kohdalta. Huokosvedenpaineen nousu otetaan suunnittelussa huomioon ohjeen *Paalutusohje 2011* mukaisesti.

6 Paalulaatan ja paaluhatturakenteen geotekninen suunnittelu

6.1 Lähtötiedot ja geometrinen suunnittelu

6.1.1 Suunnittelun vaatimat lähtötiedot

Ennen suunnittelun aloittamista kohteelle määrittään Eurokoodin mukainen seuraamusluokka CC ja geotekninen luokka GL. Paalulaattakohteet kuuluvat aina vähintään seuraamusluokkaan CC2 ja geotekniseen luokkaan GL2. Hanke- ja olosuhdekohtaisesti käytetään tarvittaessa korkeampaa luokkaa. Paaluhatturakenteet suunnitellaan seuraamusluokassa CC2 ja geoteknisessä luokassa GL2.

Paalutettavalta alueelta ja paalutuksen vaikutusalueelta tarvitaan lähtötietoina paalutuksen suunnittelua varten mm.:

- penkereen korkeus ja leveys sekä pengerluiskien kaltevuudet
- maanpinnan korkeusasema
- maaperän lujuus ja painumaominaisuudet
- pohjatutkimustulosten perusteella arvioidut paalujen tunkeutumistasot
- radoilla raiteiden ja ratajohtopylväiden sijainti
- pengerpaalutukseen liittyvien siltojen maatumien sijainti, korkeusasema ja koko sekä maatumien paalutuksen sijainti
- muiden laattaan tukeutuvien rakenteiden sijainti (esimerkiksi meluaidat, portaat, valaisinpylväät ym.)
- rumpujen, putkijohtojen yms. rakenteiden (esim. ilmajohtot) sijainti, korkeusasema ja koko sekä niiden mahdolliset erilliset ja/tai aikaisemmat pohjanvahvistussuunnitelmat
- paalutettavaan alueeseen liittyvät olemassa olevat ja suunnitellut pohjanvahvistukset
- olemassa olevien poistettavien, siirrettävien tai säilytettävien maanalaisten johto-, kaapeli- ja putkirakenteiden sekä muiden rakenteiden sijainti, perustamistapa ja värinäsietokyky
- maaperän ympäristöolosuhteiden vaikutukset materiaaleihin
- rakennetun ympäristön vaikutukset materiaaleihin (mm sähköradoilla maadoitus-tarve sekä tiesuolaus)

6.1.2 Penkereen osat

Kuormaa jakava kerros ja suojakerros

Paalulaattarakenteessa penkereen osiin kuuluvat suojakerros, pengertäyte ja ylinnä päällysrakennekerrokset.

Paalulaattarakenteessa suojakerroksen vahvuuden tulee olla vähintään 300 mm. Suojakerros tehdään sorasta tai murskeesta, jonka maksimiraekoko on 50...150 mm.

Paaluhatturakenteessa penkereen osiin kuuluvat kuormaa jakava kerros, pengertäyte ja ylinnä päällysrakennekerrokset (kuva 6.1). Kuormaa jakavan kerroksen alinta osaa kutsutaan suojakerrokseksi.

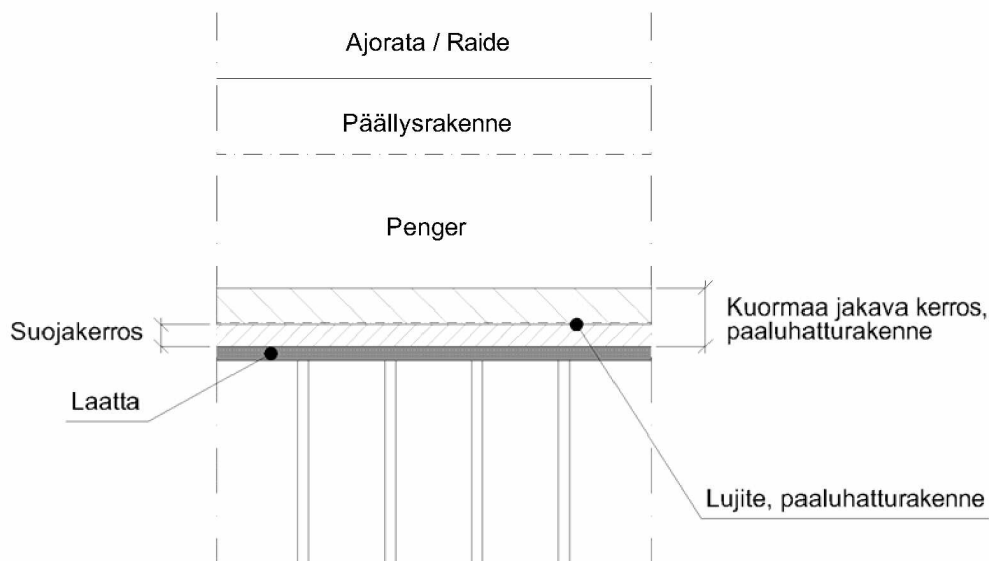
Kuormaa jakavan kerroksen vähimmäisvahvuus on rakoväli kerrottuna kahdella, kuitenkin vähintään 1 m. Tämän kerroksen yläpuolelle voidaan sijoittaa varsinaisia pengermateriaaleja. Mikäli suojakerros toimii päällysrakenteen osana, on sen materiaalin täytettävä myös päällysrakennemateriaalille asetetut vaatimukset.

Paaluhatturakenteessa on suoraan hattujen päälle ja väliin sijoitettava 300 mm suojakerros, joka tehdään sorasta tai murskeesta maksimiraekoko 50...150 mm. Suojakerroksen paksuus mitataan paaluhattun yläpinnasta.

Suojakerroksen päälle rakennetaan kuormaa jakavan kerroksen yläosa, jonka materiaali on hyvän kitkakulman omaavaa kalliomursketta, jonka maksimiraekoko on 150–200 mm.

Puupaaluja käytettäessä on paaluhattujen alle ja väleihin käytettävän materiaalin oltava vettä pidättävää.

Paaluhatturakenteessa pengerkorkeuden ollessa alle 3,5 m on suojakerroksen päälle sijoitettava lujite, joka estää kuormaa jakavan kerroksen yläosan ja pengertäytteen valumisen maapohjan painuessa ja tehostaa holvautumista paaluhattujen välissä. Kuvassa 6.1 on esitetty periaatekuva lujitteen sijainnista suojakerroksen yläosassa. Katso luku 6.2.4 geolujitteiden käyttö.



Kuva 6.1. Paalutetun penkereen osat. Kuvassa on esitetty matalan (alle 3,5 m) penkereen rakenne. Lujitetta käytetään paaluhatturakenteessa estämään täyttömateriaalin valumista rakoon dynaamisten kuormien vaikutuksessa, katso kohta 6.2.3.1.

Pengertäyte

Paaluhatturakenteen yhteydessä pengermateriaalina kuormaa jakavan kerroksen yläpuolella on käytettävä karkearakeisia materiaaleja, kuten louhetta, mursketta, soraa, hiekkaa, sora- tai hiekkamoreenia. Pengertäytteen leikkauskestävyyskulman suurentaminen pienentää maanpaineesta aiheutuvaa vaakasuoraa kuormavaikutusta. Täytön rakentamisessa noudatetaan ohjeessa *InfraRyl, osa 1, kohta 13270* esitettyjä vaatimuksia.

6.1.3 Rakenteen geometrian suunnittelu

Rakenteen laajuus

Rakenteen laajuus penkereen pituussuunnassa määritetään teknistaloudellisen selvityksen perusteella.

Rakenteen rajautuessa siltaan on siltaan liittymisen lisäksi selvitettävä, miten keilat ja etuluiskat perustetaan.

Rakenteen liittyessä pohjanvahvistukseen on se yleensä suunniteltava niin, että laatan päätyreuna on kohtisuoraan ajoradan poikkisuunnassa. Korkeilla, yli 8 m penkereillä jotka liittyvät kovapohjaiseen pohjamaahan tai alle 3 m syvään tiivistettyyn massanvaihtoon, voidaan sallia myös vino päätyreuna.

Radoilla on otettava huomioon vaihteet, joiden alueella paalulaatta ei saa päätyä.

Rakenteen laajuus penkereen sivusuunnassa suunnitellaan niin, että sen avulla voidaan ottaa kaikki liikennekuormat ja pengerkuormat.

Sivuluiskan alaosa voidaan suunnitella maanvaraiseksi. Paalutettu rakenne on rajattava niin, että maanvaraisen osan kuormitus ei painumisen, riittämättömän vakavuuden tai muun syyn takia vahingoita rakennetta. Maanvaraiselle luiskan osalle on tehtävä käyttörajatilan tarkastelu kohdan 6.2.1 mukaisesti.

Ohjeet varautumisesta mahdollisten lisäraiteiden tai -ajoratojen rakentamiseen annetaan hankkeen suunnitteluperusteissa.

Korkeustaso, kaltevuus ja kuivatus

Paalulaatan tai paaluhatturakenteen korkeustaso määritetään siten, että maaperän vakavuus täyttää vaatimukset, eikä maaperässä tapahdu paaluille tai laatalle haitallista painumaa. Vakavuus- ja painumavaatimukset on esitetty jäljempänä.

Uusilla tie- ja ratarakenteilla korkeustaso määritetään ensisijaisesti siten, että taso mukailee olemassa olevaa tai leikattavaa maanpintaa. Laatan tai paaluhattujen alle tai penkereen sivuille ei yleensä voida suunnitella pohjamaata kuormittavaa täyttöä, lukuun ottamatta työpetiä tai vähäisiä routasuojuuksia. Paalulaatan tai paaluhattujen alle suunniteltava täyttö on yleensä mahdollista vain kun maapohja on sitkeää, ylikonsolidoitunutta savea.

Levennettävillä tie- ja ratarakenteilla on edellä esitetyn lisäksi korkeustasoa määritettäessä otettava huomioon mahdollisen viereisen raiteen tai ajoradan asettamat rajoitukset sekä mahdolliset huoltotiet tai myöhemmin rakennettavat lisäraiteet tai -kaistat.

Kuivakuori tulee mahdollisuuksien mukaan säilyttää.

Paalulaatan kaltevuuden enimmäisarvo on 1:5. Hankekohtaisesti voidaan sopia tätä jyrkemästä laatan kaltevuudesta.

Paalulaatta kuivatetaan keräämällä pintavedet rakenteen ulkopuolelle ja johtamalla ne väylän kuivatusjärjestelmään ensisijaisesti joko kallistamalla laatta tai toissijaisesti rei'ittämällä paalulaatta ja ohjaamalla kuivatusvedet laatan alakautta väylän kuivatukseen.

Paalulaatan yläpinnalle kertyvä vesi on johdettava laatan ulkopuolelle ensisijaisesti kallistamalla laattaa. Kun vesi poistetaan laattaa kallistamalla, tulee laatan pinnan olla vähintään kaltevuudessa 1:50. Laatan pinnalle ei tällöin sallita lätäköitymistä.

Erityisesti leveillä pengerlaatoilla voi pohjamaalle tulevien täyttöjen paksuuden tai syvälle leikkautumisen vuoksi olla teknisesti perusteltua käyttää vaakasuoraa laattaa. Vaakasuoralla laattalla vedenpoistoreikiä on oltava vähintään 1 kpl / 20 m² kohti ja reiän halkaisijan on oltava vähintään 70 mm. Suolatuilla teillä laatan betonin laatuvaatimuksia korotetaan kohdan 6.3.2.4 mukaisesti. Vaakasuoralle laatalle sallitaan normaaleista pinnan tasaisuusvaatimuksista johtuva lätäköityminen.

Paaluhattu on asennettava vaakasuoraan ja viereiset paaluhatut pääsääntöisesti samalle korkeustasolle.

Paaluhatturakenne kuivatetaan kuten paalulaatta.

Paaluhatturakenne voidaan osalla paalutettavaa aluetta rakentaa luiskatulle maapohjalle, jos se on tarpeen esimerkiksi paaluhatturakenteen liittämiseksi toiseen rakenteeseen eikä toimenpiteellä vaaranneta paaluhatturakenteen vakavuutta ja teknistä toimivuutta. Paaluhatturakenteen kaltevuuden enimmäisarvo on 1:6 ja se lasketaan viereisten paaluhattujen alapintojen keskipisteiden kautta kulkevan suoran kaltevuutena.

Erityisesti paaluhatturakenteen suunnittelussa on huomioitava paalutuksesta johtuva maanpinnan nousu sekä sen jälkeinen painuma. Paalutuksen aiheuttaman huokosylipaineen purkautuminen paksuissa savikerroksissa voi kestää useita kuukausia.

Painuma-arvioissa on lisäksi huomioitava paalutustyöalustan ym. täyttöjen painosta sekä mahdollisesta pohjaveden pinnan alenemisesta aiheutuva painuma. Maapohjan painuman pienentämiseksi on tarvittaessa harkittava työalustan osittaista tai täydellistä poistoa ennen hattujen asentamista.

6.1.4 Luiskat ja vierustäytöt

Pengerrakennetta tukevan luiskan alaosan ja rakenteen reuna-alueiden suunnittelulla määritetään vahvistamattoman pengerosan laajuus ja korkeus. Suunnittelun lähtökohtana tulee olla, että luiskan alaosan lisäksi ei muita luiska- ja vierustäyttöjä rakenneta.

Luiskan alaosan maanvaraisesta täytöstä tai muusta vierustäytöstä rakenteelle tulevat kuormat tulee ottaa huomioon. Paalut on mitoitettava täyttöjen mahdollisesti aiheuttamille taivutus- ja leikkausrasituksille.

Laattarakennetta käytettäessä voidaan eräissä tapauksissa käyttää pelkkiä pystypaaluja. On myös mahdollista sijoittaa vinopaalut keskemälle laattaa, jolloin vierustäyttö ei aiheuta paaluille merkittäviä taivutus- tai leikkausrasituksia.

6.2 Laatan ja hatun geotekninen suunnittelu

6.2.1 Alueellinen ja paikallinen stabiliteetti

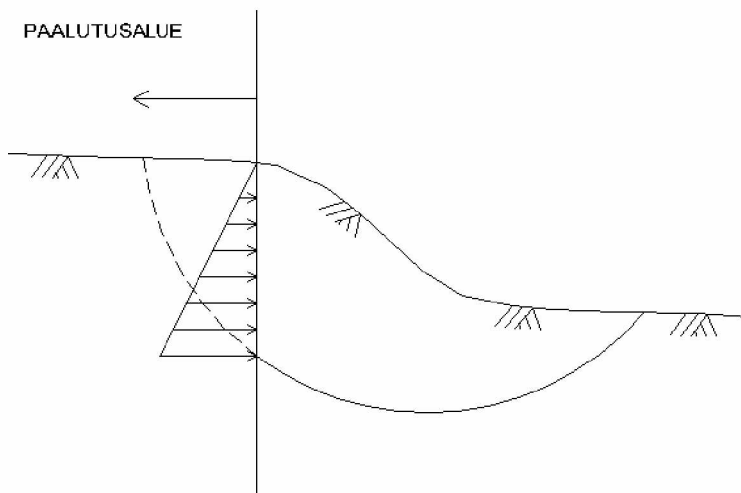
Maapohjan luonnontilainen vakavuus paalutusalueella on selvitettävä geoteknisen suunnittelun yhteydessä. Vakavuuden parantamiseksi tarvittavat vahvistustoimenpiteet kuuluvat myös paalutetun rakenteen geotekniseen suunnitteluun.

Maapohjan vakavuus alueellista sortumaa vastaan tarkistetaan käyttörajatilassa noudattaen ohjetta *NCCI* 7.

Rinteen luonnontilainen vakavuus selvitetään riittävän laajalla alueella pohja- ja laboratoriotutkimuksia, seurantamittauksia, geoteknisiä laskelmia sekä hyvää geoteknistä asiantuntemusta käyttäen. Luonnontilaisesta vakavuudesta saadaan viitteitä esim. vanhoista sortumista. Jatkotoimenpiteiden laajuus ja laatu riippuvat tapauskohtaisesti luonnontilaisesta varmuudesta.

Paalujen lyönnistä aiheutuva maan syrjäytyminen lisää kokonaisjännitystilaa ja aiheuttaa huokosylipainetta paalun ympäristössä. Tämä on otettava huomioon vakavuutta laskiessa.

Paalutuksen aiheuttama vaakasuora kuormavaikutus voidaan ottaa huomioon vakavuuslaskelmissa kuvan 6.2 mukaan. Paalurintaman eteen sijoitetaan laskelmassa paalutuksesta aiheutuva lisäkuorma, joka voidaan olettaa lepopaineen suuruiseksi, kun paalujen yhteenlaskettu pinta-ala koko laatan pinta-alasta on enintään 2 %. Jos paalujen pinta-ala on suurempi kuin 2 %, niin lepopaineoletus ei ole riittävä, vaan paalutuksen aiheuttama paine lähestyy passiivipainetta.



Kuva 6.2: Paalutuksen aiheuttaman vaakasuoran kuormituksen huomioiminen vakavuuslaskennassa

Myös paalutetun rakenteen ulkopuolelle jäävän penkereen osan (esim. luiskan alaosan) vakavuus käyttörajatilassa tarkistetaan Eurokoodin mukaisesti.

6.2.2 Routasuojaus

Mitoitussyvyys määritellään syvyytenä tulevasta maanpinnasta maaleikkauksen pohjan tasoon.

Tierakenteissa paalulaattojen routamitoitus tehdään kerran 20 vuodessa toistuvan pakkasmäärän mukaan soveltaen ohjeita *Tien geotekninen suunnittelu* ja *Sillan geotekninen suunnittelu*. Mitoittava pakkasmäärä on esitetty ohjeessa *RIL 261-2012, Routaohjeet*.

Tiepenkereen luiskissa voidaan ottaa huomioon lumen suojaava vaikutus ohjeen *Tien geotekninen suunnittelu* mukaisesti. Routimisen kannalta kriittisin kohta sijaitsee yleensä penkereen alaluiskassa, jossa paalurakenteen päällä olevan pengertäytteen korkeus on pienimmillään. Tarvittaessa luiskan alaosaan sijoitetaan lämpöeriste.

Ratarakenteissa paalulaattojen routamitoitus tehdään kuten tierakenteilla. Lumen suojaavaa vaikutusta ei voida ottaa huomioon radan paalulaatoissa. Mikäli routasuojauksessa käytetään routalevyjä, on niiden oltavan vaihdettavissa. Routalevyjen käyttömahdollisuus määritetään aina hankekohtaisissa suunnitteluperusteissa. Lisäksi noudatetaan *RATO 3 kohdan 3.9.4* ohjeita routasuojauksen käytöstä radoilla.

6.2.3 Paaluvälin mitoitus

Paaluväli mitoitetaan laskennallisten kuormien ja paalun geoteknisen kestävyys mukaan. Tuloksena saadaan paalujen k/k-väli.

Paalun rakenteellista kantavuutta alentavat paaluihin kohdistuvat taivutus- ja leikkausjännitykset ja maaperäolosuhteet (nurjahdus) on tarpeen mukaan otettava mitoituksessa huomioon.

Paaluvälin mitoituksessa otetaan huomioon penger- ja liikennekuorman pystysuoran osuuden (kohta 5.2) lisäksi suoraan paaluun kohdistuvista kuormista (kohta 5.3) paalulle siirtyvät kuormat kuten negatiivinen vaippahankaus. Paaluväli määritetään yhtälöiden 6.1 ja 6.2 avulla (mitoitustapa DA2). Kuormien tai kuorman vaikutusten osavarmuusluvut ohjeen *NCCI7, Liite 1, Taulukko A.3a(FI)*.

$$F_d \leq R_d \quad (6.1)$$

$$F_d = K_{FI} \times 1,35 \times (G_k + F_{neg;k}) \quad (DA2; 6.10a) \quad (6.2a)$$

$$F_d = K_{FI} \times 1,15 \times G_k + K_{FI} \times (1,35 \text{ tie}/1,45 \text{ rata}) \times Q_k \quad (DA2; 6.10b) \quad (6.2b)$$

F_d	kuorman mitoitusarvo
R_d	paalun kestävyysmitoitussarvo
K_{FI}	luotettavuusluokasta riippuva kuormakerroin (määritetään hankekohtaisissa suunnitteluperusteissa)
G_k	pysyvien kuormien ominaisarvo (yhdelta paalulle)
Q_k	pystysuorien liikennekuormien ominaisarvo (yhdelta paalulle)
$F_{neg;k}$	negatiivisen vaippahankauskuorman ominaisarvo

6.2.4 Paaluhattujen koon ja rakovälin mitoitus paaluhatturakenteissa

6.2.4.1 Rakovälin mitoitus

Rakovälillä tarkoitetaan vierekkäisten hattujen reunojen suurinta väliä. Hattujen peitto-osuudella tarkoitetaan hattujen yhteenlasketun pinta-alan suhdetta koko paalutettavan alueen pinta-alaan.

Tierakenteissa paaluhatturakenteen rakoväli mitoitetaan pengerkorkeuteen perustuen taulukon 6.1 avulla. Taulukosta saadaan paaluhattujen rakoväli eri pengerkorkeuksilla. Rakoväliä on tarvittaessa pienennettävä hattukokoa suurentamalla niin, että hattujen peitto-osuus on vähintään 0,4.

Pienin käytännöllinen rakoväli on 300 mm käytettäessä kohdassa 7.2.7 esitettyjä paalun sijaintipoikkeamia.

Taulukko 6.1: Paaluhatturakenteissa käytettävä maksimirakoväli, betonipaalut.

Pengerkorkeus	Rakoväli enintään
2,1 m	0,4 m
≥ 3,5	0,7 m
Väliarvot interpoloidaan	

Suojakerroksen ja kuormaa jakavan kerroksen käytöstä on erilliset ohjeet kohdassa 6.1.2 Penkereen osat. Lujitteen käytöstä alle 3,5 m pengerkorkeudella on ohjeet kohdassa 6.2.5.

Ratarakenteiden korjauskohteissa käytettävien paaluhattujen rakoväli ja lujitteiden käyttö määritetään hankekohtaisesti.

Elementeistä tehtävillä ratalaatoilla on elementit asennettava kiinni toisiinsa ja ne on sidottava siten, että ne eivät pääse liikkumaan toistensa suhteen.

6.2.4.2 Paaluhattun koon valinta

Paaluvälin mitoituksen jälkeen valitaan rakoväli ja hattukoko huomioon ottaen hattujen peitto-osuudelle asetettu vaatimus (6.2.3.1). Suurin käytettävä hattukoko on 2,0 x 2,0 m².

Hatulle määritellystä maksimikoosta johtuen matalissa penkereissä paalujen koko kapasiteettia ei aina voida käyttää kokonaan hyväksi. Tämä koskee erityisesti betoni-paaluja.

6.2.4.3 Rakovälin mitoitus, kun käytetään yhteenvalettuja paaluhattuja

Taulukosta 6.1 saatua rakoväliä voidaan tierakenteissa kasvattaa 0,3 metrillä, kun käytetään yhteenvalettua paaluhatturakennetta. Rakovälin lisäys voidaan hyödyntää joko kasvattamalla paaluväliä, mikäli paalujen kantavuus sen sallii tai pienentämällä paaluhattukokoa.

Yhteen valettavien paaluhattujen rakenteellisen mitoituksen tulee aina vastata paalulle tulevia kuormia. Yhteen valettavien paaluhattujen rauditus viedään rakovälin yli käyttäen hatun reunaosan teräsjakoa ja -kokoa.

Rakoväli valetaan samat materiaaliveatimukset täyttävällä betonilla kuin hattuosaa. Rakenteen paksuuden rakovälissä tulee olla vähintään 130 mm, mutta ei kuitenkaan yli puolta hattuosan paksuudesta. Hattujen ja rakovälien valu tulee suorittaa samalla kertaa. Rakovälin betonoinnin tarkoituksena on estää pengermateriaalin valuminen hattujen väliin.

Yhteen valetun paaluhatturakenteen käyttörajoitukset eivät poikkea normaalin paaluhatturakenteen käyttörajoituksista, jotka on lueteltu kohdassa 3.3.

Kuormaa jakava kerros on toteutettava normaalisti kappaleen 6.1.2 mukaisesti mutta kuitenkin niin ettei kohdassa esitettyä lujitetta ei tarvitse tehdä.

6.2.5 Lujitteiden käyttö

Alle 3,5 m pengerkorkeudella paaluhatturakenteeseen on sijoitettava geolujite suoja-kerroksen yläpinnalle. Lujitteen tarkoitus on estää kuormaa jakavan kerroksen yläosan valuminen mahdollisesta maapohjan painumasta syntyvään paaluhattujen väliin tilaan sekä tehostaa kuormien holvautumista paaluhattujen välissä (kappale 6.1.2).

Lujite on mitoitettava siten, että lujitteen suurin painuma rakovälin keskellä on ≤ 100 mm. Mitoituksessa oletetaan raon olevan tyhjä pohjamaan painumisen seurauksena. Suunnittelun tulee vastata lujitteen todellista käyttäytymistä rakenteessa. Paaluhatturakenteeseen liittyvien lujitteiden suunnittelua ja mitoitusta on käsitelty Liikenneviraston oppaassa *Geolujitetut maarakenteet*.

Lujitteiden käytöstä muuhun tarkoitukseen kuin kappaleessa 6.1.2 esitettyyn rakovälin peittämiseen on paaluhatturakenteen yhteydessä sovittava hankekohtaisesti.

6.2.6 Paalutetun penkereen leventäminen ja purku

Kun käytössä olevaa paaluperustusta levennetään, on suoritettava teknistaloudellinen vertailu, jossa on mukana myös rakennettavaan osaan välittömästi liittyvä aikaisemmin rakennettu paaluperustuksen osa. Vertailun avulla selvitetään, miten uusi rakenne liitetään olemassa olevaan rakenteeseen ja onko olemassa olevan paaluperustuksen rakenne ja kunto huomioon ottaen tarkoituksenmukaista korvata se joko osittain tai kokonaan uudella rakenteella.

Paaluhatturakenteelle tai paalulaatalle perustetun penkereen purkamisesta on laadittava suunnitelma. Penger on tarvittaessa purettava vaiheittain. Paikoilleen jäävä penger on myös tarvittaessa tuettava maanpaineista aiheutuvien vaakavoimien hallitsemiseksi.

Paaluhatturakenne on altis progressiiviselle sortumalle.

Yleensä vain paalulaatan leventäminen on mahdollista. Vanhan pengerluiskan kohdalla olevat vinopaalut joudutaan tällöin levennyksen määrästä riippuen joko osittain tai kokonaan korvaamaan pystypaaluilla. Levennettävällä alueella on suositeltavaa käyttää paaluhatturakenteen sijasta paalulaattaa.

6.2.7 Työalusta ja valualusta

Suunnitelmassa on esitettävä yleiset periaatteet suunnitelman työtekniselle toteuttamiselle työ- ja valualustan osalta.

Työalustan vaikutus alueen kokonaisvakavuuteen tai viereisten rakenteiden vakavuuteen on aina tarkistettava. Kantavuuskaavoilla ja liukupintalaskelmilla voidaan tehdä alustavia tarkasteluja työalustan tarpeesta ja paksuudesta. Työalustan paksuus ja materiaalivaatimukset voidaan tarvittaessa määrittää lävistysmurtumalaskelmien avulla esimerkiksi elementtimenetelmään perustuvilla ohjelmilla. Erittäin heikosti kantavilla maapohjilla valun toteuttamiseen liittyvät reunaehdot voivat vaikuttaa paalulaattatyypin valintaan.

Valualustan painuma ei saa betonin sitoutumisaikana ylittää 5 mm. Hyvin pehmeillä pohjamailla (suljettu leikkauslujuus on alle 10 kPa) ja aina turpeen päälle rakennettaessa on työalustan valunaikaisen painuman suuruus tarkastettava luotettavilla painumalaskelmilla. Tarvittaessa valualustaa vahvistetaan, esikuormitetaan ja/tai käytetään sementissä sitoutumista kiihdyttäviä lisäaineita. Valualustan käyttökelpoisuus voidaan varmentaa painumamittauksilla.

Paaluhatturakenteen työalustan rakenteesta ja mahdollisesta poistosta paalujen asennuksen jälkeen on suunnitelmassa annettava ohjeet, jotta vältetään yli 100 mm painuma paaluhattujen asentamisen jälkeen. Jälkipainuman suuruus on osoitettava luotettavilla painumalaskelmilla.

Puupaaluja käytettäessä ei paaluhattun yläpinnan alapuolella saa käyttää soraa tai murskettä paalujen lahoamisvaaran takia.

6.2.8 Paalutustyön seurantamittaukset

Paalutustyön aikana tehtävillä seurantamittauksilla varmennetaan paalujen kantavuus ja muu kelpoisuus sekä paalutuksen vaikutus lähiympäristöön ja -rakenteisiin. Seurantamittaukset tehdään ohjeita *Paalutusohje 2011*, *Siirtymä- ja huokospainemittausten sekä paalujen koekuormituksen menetelmäkuvaukset* ja *Geotekniset tutkimukset ja mittaukset* noudattaen.

Näitä mittauksia muun muassa ovat:

- huokospainemittaus
- sivusiirtymämittaus (inklinometrit)
- kantavuusmittaus (dynaaminen koekuormitus)
- ehjyysmittaus
- suoruuden mittaus paalun reiästä
- yläpään siirtymämittaus

6.2.9 Rakennustöiden ympäristövaikutukset

Paalutus- ja muiden töiden osalta suunnitteluperusteet on esitetty ohjeessa *Sillan geotekninen suunnittelu* sekä *Paalutusohje 2011*. Suunnittelussa tulee erityisesti ottaa huomioon paalutustyön mahdollisesti aiheuttama huokosveden ylipaine ja maan siirtymä, jotka voivat aiheuttaa vahinkoa ulkopuolisille rakenteille ja rakennettavalle kohteelle.

Ympäristöriskeihin voidaan vaikuttaa työn aikana työteknisillä keinoilla, joita on selostettu yleisissä laatuvaatimuksissa (*InfraRYL 2010*). Suunnitelmassa huomioon otettavia asioita ovat esimerkiksi:

- kevennysleikkaukset vaikuttavat alueelliseen vakavuuteen
- valitsemalla pieniläpimittainen paalutyyppi voidaan saven häiriintymistä vähentää, samoin voidaan vähentää muita paalutustöistä aiheutuvia haittoja kuten tärinää ja melua sekä pohjamaan tiivistymistä
- suunnitelmassa esitetään toimenpiteet, joilla pohjavedenpinnan lasku voidaan estää mikäli siitä aiheutuisi haitallista negatiivista vaippahankausta

Suunnitelmassa on määrättävä ne ympäristön tarkkailutoimenpiteet, jotka on tehtävä ennen työn suoritusta, työn aikana ja työn jälkeen.

Paalutusohje 2011 osan 2 kohdissa 4.7 ja 8 käsitellään ympäristöhaittojen kuten melun ja tärinän torjuntaa.

6.3 Laatan ja hatun rakenteellinen suunnittelu

6.3.1 Rakenteen mitoitus kuormille ja kuormavaikutuksille

Paalulaatan ja sen paalujen rakenteellinen suunnittelu tehdään eurokoodien ja niihin liittyvien Liikenneviraston soveltamisohjeiden *NCCI 1*, *NCCI 2*, *NCCI 7* ja *Paalutusohje 2011* mukaisesti.

Kuormien yhdistely suoritetaan ohjeen *NCCI 1* mukaan.

Tiepaalulaatoilla on riittävää tarkastella seuraavat yhdistelmät:

- Murtorajatila: MRT_1, MRT_3 ja MRT_11. (erityisen korkeilla paalulaatoilla tarkastellaan myös MRT_0)
- Tavallinen yhdistelmä, KRT_1b ja KRT_11b.
- Pitkäaikaisyhdistelmä, KRT_1c.
- Liikennekuormien lisäksi muita muuttuvia kuormia ei huomioida.

Rautatiepaalulaatoilla on riittävää tarkastella seuraavat yhdistelmät:

- Murtorajatila: MRT_1 ja MRT_9. (erityisen korkeilla paalulaatoilla tarkastellaan myös MRT_0)
- Tavallinen yhdistelmä, KRT_1b ja KRT_gb.
- Pitkäaikaisyhdistelmä, KRT_1c.

Penkereeseen maan omasta painosta ja liikennekuormasta syntyvät maanpaineet (halkaisuvoimat) otetaan paalulaatan raudoituksella – ei vinopaaluilla.

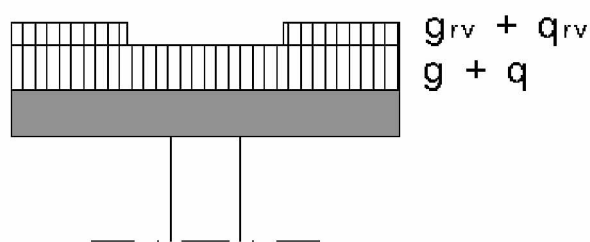
Epäsymmetrisiä kuormitustapauksia on käsitelty kohdassa 5.2.3.

Mikäli laatta rajoittuu sillan maatukeen, on mahdollista siirtää tien pituussuunnassa laattaan kohdistuvia vaakakuormia edelleen sillan peruslaatalle.

Paalutus on suunniteltava niin, että paaluihin ei kohdistu maapohjan vaakasiirtymistä aiheutuvia haitallisia kuormia.

Paalulaattojen mittojen valinnassa on otettava huomioon myös vaihteet, joiden alueella paalulaatta ei saa päätyä. Ohjeet varautumisesta mahdollisten lisäraiteiden rakentamiseen annetaan hankkeen suunnitteluperusteissa ja ohjeessa *RATO 3*.

Paaluhattujen rakenteellisessa mitoituksessa laatalle kohdistuva kuorma rakovälin alueelta oletetaan jakaantuneeksi paaluhatun reunakaistalle, jonka leveys on puolet rakovälistä (rv). Kuorman jakauma paaluhatulla on kuvan 6.3 mukainen. Tarkastelun yksinkertaistamiseksi reunakaistan leveys voidaan olettaa vakioksi 0,35 m.



Kuva 6.3. Kuorman jakaantuminen paaluhatun rakenteellisessa mitoituksessa.

6.3.3 Paalulaatan rakenteellinen mitoitus

Paalulaatta mitoitetaan ohjeen *NCCI 2* mukaan. Tarkastettavia asioita murtorajatilassa ovat taivutus, leikkaus ja läpileikkautuminen. Käyttörajatilassa tarkastetaan halkeamaleveydet sekä tavalliselle että pitkäaikaisyhdistelmälle.

Vaakakuormista paalulaattaan syntyvä vetovoima on otettava huomioon sekä murto- että käyttörajatilamitoituksessa.

6.3.3.1 Läpileikkautuminen

Lävistysvoimana käytetään paalun tukireaktiota vähennettynä lävistyskartion alueelle jäävällä osuudella kuormasta eli

$$V_d = R_d - \Delta V_d \quad (7.1)$$

$$\Delta V_d = q_d \times (a + 2 \times d)^2 \quad (7.2)$$

R_d on tukireaktio

a paalun sivumitta tai teräspaalun paaluhatun sivumitta

d laatan tehollinen paksuus lävistyksessä

Laatan paksuudeksi oletetaan paalun pään yläpuolelle jäävä paksuus.

Paalun upotussyvyyden laattaan tulee olla vähintään 50 mm.

6.3.3.2 Taivutus

Tarkasteltaessa sienilaattaa taivutukselle oletetaan laatan tehollisen poikkileikkauksen muuttuvan enintään 1:3 viisteellä, kuitenkin niin, että korkeus on enintään sienien todellinen korkeus paalun kohdalla vähennettynä paalun upotussyvyydellä. Laatan voimasuureita laskettaessa käytetään laatan todellisten paksuuksien mukaisia jäykkyyksiä olettaen betoni halkeilemattomaksi.

6.3.3.3 Halkeilu

Halkeamaleveydet lasketaan ohjeen *NCCI 2* mukaan ja kuormitusyhdistelmät määritetään *NCCI 1* mukaan.

Liikennekuorman LM1 käyttörajatilan tavallinen arvo saadaan kertomalla *kuvan 5.2* kuvaajasta saatava ominaisarvo luvulla 0,68. Pitkäaikaistarkastelussa liikennekuorma jätetään huomioimatta.

6.3.3.4 Säilyvyys

Betonin rasitusluokka valitaan ohjeen *NCCI 2* mukaan.

Paalut suunnitellaan rasitusluokkaryhmään R4. Rasitusluokka karbonatisoitumista vastaan on XC2, jonka mukaan RT:n julkaiseman tuotelehden "Teräsbetoninen lyöntipaalu" tyyppipaalut on suunniteltu. Ankarammissa olosuhteissa mm. sulfidisavi-alueilla rasitusluokka valitaan julkaisun *Paalutusohje 2011* osan 1 liitteen 3 mukaisesti.

Teräsputkipaalujen korroosiovara määritetään hankekohtaisesti. Tasavirtalähteiden (mm. muuntajat, katodisesti suojatut rakenteet, sähkölaitteiden huono maadoitus) aiheuttama hajavirtakorroosion riski on tarvittaessa selvitettävä kohdissa, missä virta jättää metallipinnan. Vaihtovirtalähteet, kuten rautateiden sähköistysjärjestelmä, eivät yleensä aiheuta teräksen hajavirtakorroosiota. Suojaamattomien teräspaalujen korroosion aiheuttamia keskimääräisiä pinnan syöpymiä on esitetty julkaisun *Paalutusohje 2011 kohdassa 4.7.6.1*.

Paalulaatan ja paaluhattujen betonirakenteiden rasitusluokat, lujuusluokat sekä betonipeitteen paksuudet määritetään ohjeen *NCCI 2 taulukon 4.3* mukaan seuraavat tarkennukset huomioon ottaen:

- Kun tierakenteessa pengerkorkeus on vähintään 1,4 m ja laatan pinta on vähintään kaltevuudessa 1:50, niin vaatimukset ovat rasitusluokkaryhmässä R4 (suolaamaton tie) rakenneosan Ro30 mukaan ja rasitusluokkaryhmissä R1 ja R2 (suolattu tie) rakenneosan Ro31 mukaan.
- Kun tierakenteessa laatta on vaakasuora ja rei'itetty, niin vaatimukset ovat rasitusluokkaryhmissä R1 ja R2 rakennusosan Ro31 taulukosta poikkeavasti seuraavat: rasitusluokka XD3, lujuus-luokka C35/45 ja betonipeitteen paksuus 60 mm.
- Kun ratarakenteessa pengerkorkeus on vähintään 1,4 m, niin vaatimukset ovat rasitusluokkaryhmässä R4 rakenneosan Ro30 mukaan
- Kun pengerkorkeus on vähintään 1,4 m, niin betonilla ei ole pakkasenkestävyys-lukuvaatimusta

Kaikissa tapauksissa edellytetään, että pintavedet johdetaan kohdan 6.1.3 mukaisesti väylän kuivatusjärjestelmään.

Kun pengerkorkeus on alle 1,4 m, niin paalulaattaa käsitellään siltarakenteena. Betonin vähimmäisvaatimukset (rasitus- ja lujuusluokka, P-lukuvaatimus, betonipeitteen nimellisarvo) määritetään ohjeen *NCCI 2* mukaisesti.

6.3.4 Paaluhatturakenteellinen mitoitus

Paaluhatturakenteellinen mitoitus tehdään noudattaen paalulaatan mitoitusohjeita.

6.4 Paalutuksen suunnittelu

6.4.1 Paalutusluokan määrittäminen

Paalujen paalutustyöt jaetaan *Paalutusohjeen 2011* kohdan 4.7.1.2 mukaisesti paalutustyöluokkiin PTL1-PTL3. Paalutustyöluokka määräytyy kohteen seuraamusluokan ja geoteknisen luokan perusteella.

- Paalulaattojen paalutukset kuuluvat paalutustyöluokkaan PTL2 ellei pohjaolosuhteet edellytä vaativampaa luokkaa tai hankekohtaisesti toisin sovita.
- Paaluhatturakenne teräsbetonipaaluin kuuluvat paalutustyöluokkaan PTL1 ellei hankekohtaisesti toisin sovita.

6.4.2 Paalutyypin valinta

Paalutyypin käyttökohteista

Paalutyyppi valitaan teknisten ja taloudellisten näkökohtien perusteella ympäristönäkökohdat huomioonottaen. Paalut ovat yleensä lyöviä teräsbetonipaaluja tai teräspaaluja ja ne asennetaan tukipaaluina. Myös porapaaluja käytetään.

Tekninen soveltuvuus käyttökohteeseen ratkaistaan paalutyypin ominaisuuksien ja pohjasuhtetietojen perusteella. Erityisesti lyöntipaaluilla kiinnitetään huomiota siihen:

- että asentaminen tavoitetasoon voidaan tehdä luotettavasti ja tavoiteltu geotekninen kestävyys voidaan varmistaa eikä paalun kärjen liukumisvaaraa ole
- että paalu on asennustyön jälkeen ehjä
- paalutustyöstä aiheutuvat ympäristövaikutukset (tärinä, maan syrjäytyminen ja siirtymät, huokosvesipaineen nousu, maakerrosten tiivistyminen) pysyvät hyväksyttävällä tasolla

Kun laatan perustamiseen käytetään erilaisia paalutyyppejä, on paalujen keskinäinen sekä paalujen ja laatan välinen yhteistoiminta varmistettava.

Voimajohtolinjojen alla tai korkeudeltaan rajoitetuissa olosuhteissa voi olla välttämättä käyttää tavallista lyhyempiä paaluelementtejä.

Laattarakennetta ei saa perustaa puupaalujen varaan. Paaluhatturakenteen voi perustaa puupaalujen varaan vain, mikäli kysymyksessä on korjausrakentaminen.

Paalumateriaalin valinta huomioonottaen paalun säilyvyys

Paalumateriaalin säilyvyyden varmistamiseksi tehtävät toimenpiteet tulee valita siten, että paalu säilyttää vaaditut ominaisuudet paalulaatta- ja paaluhatturakenteelta edellytettävän käyttöajan. Säilyvyyden vaatimukset on esitetty tämän ohjeen kohdassa 6.3.2.4

Pysyvissä rakenteissa puupaalujen yläpäiden tason on oltava vähintään 0,5 m alimman pohjaveden pinnan alapuolella.

6.4.3 Paalukoon valinta ja paalun materiaalivaatimukset

Teräsbetonipaalun tavallisin paalukoko on paalulaatoilla 300 x 300 mm² ja paaluhatturakenteilla 250 x 250 mm².

Teräs- ja teräsbetonipaalujen ja niiden varusteiden materiaalivaatimukset on annettu tämän ohjeen luvussa 4, *InfraRYL 2010 luvussa 13200* sekä *Paalutusohje 2011* osan 1 kohdassa 2.5 ja osan 2 kohdassa 3.

Jos on odotettavissa, että teräsbetonipaalun kärki tukeutuu kallionpintaan tai lohka-reiseen pohjamaakerrokseen tai että liukumisvaara on olemassa, paalu on varustettava kalliokärjellä. Teräsbetonipaalu voi olla tarpeellista varustaa kalliokärjellä myös muulloin, esimerkiksi paalun tunkeutuvuuden parantamiseksi.

Puisen tukipaalun latvaläpimitta on oltava vähintään 150 mm. Puupaalujen ja niiden varusteiden materiaalivaatimukset on määritelty RIL-ohjeen *Paalutusohje 2011 kappaleissa osa 1 kpl 2.5 ja osa 2 kpl 3* ja Liikenneviraston ohjeessa *InfraRYL laatuvaatimusten soveltaminen tienpidossa*.

6.4.4 Paalujen sijainnin ja kaltevuuden suunnittelu

Paalut suunnitellaan sekä paalulaatta- että paaluhatturakenteessa yleensä tasavälein säännölliseen ruudukkoon ottaen huomioon mitä luvussa 5 on sanottu liikenne- ja pengerkuormien vaikutusalueista. Sillan keiloissa tai muissa vastaavissa pienialaisissa paikoissa voidaan käyttää epäsäännöllistä paaluväliä. Yksittäisen paalun sijainnin kohdentamisella voidaan myös joissain tapauksissa välttää paalun tunkeutuvuuden tai kallioon tukeutumisen kannalta vaikeaa aluetta esimerkiksi vinoa kallionpintaa.

Laatta- ja paaluhatturakenteiden kuormat siirretään pystypaaluille ja vaakakuormat pääsääntöisesti vinopaaluille. Vaakasuorat ulkoiset kuormat voidaan jäljempänä mainituin edellytyksin siirtää paalun sivuvastuksen kautta maaperään edellyttäen, että paalulaatassa ei ole sivuvoiman suuntaan kallistettuja paaluja. Erityistapauksissa vaakakuormat voidaan siirtää esimerkiksi sillan rakenteiden tai paalulaatan päähän tehtävän puskupalkin kautta maaperään. Vinopaaluille ei yleensä voida siirtää eiaksiaalisia kuormia.

Kun varaudutaan penkereen myöhempään leventämiseen, on edullista käyttää laatan reunarivissä pystypaaluja, jos se maaperäolosuhteiden ja rakenteen toiminnan kannalta on mahdollista.

Maantielaatoilla keskipakovoiman ja jarruvoiman voidaan olettaa siirtyvän kokonaisuudessaan maaperään pystypaalujen sivuvastuksen kautta, kun maapohja on kivennäismaalajia ja sen leikkauslujuus on vähintään 20 kPa tai 15 kPa, kun maassa on vähintään 1,0 m paksuinen kuivakuorikerros.

Mikäli em kappaleessa esitetty ehto ei täyty, jarrukuorma voidaan siirtää maaperään ajoradan keskialueelle sijoitettavia vinopaaluja käyttäen. Keskipakovoima voidaan siirtää maaperään tien luiskaan sijoitettavia vinopaaluja käyttäen. Samalla luiskaan sijoitettavat paalut varmistavat rakenteen stabiilisuuden poikkisuunnassa. Vinopaalurivien minimimäärä on kaksi. Tällöin paalujen kaltevuus lasketaan kaavalla 7.3. Maan sivuvastuksen käyttö tai laattarakenteen tukeutuminen muuhun rakenteeseen edellyttää kohdekohtaista rakennemallia, jolla osoitetaan rakenteen toiminta.

Maantielaatoilla vaakasuorat maapaine kuormat siirretään aina kantavaan pohjamaahan joko vinopaaluilla tai hankekohtaisissa suunnitteluperusteissa mainituilla erityistoimilla.

Ratapaalulaatan vaakasuuntaiset ulkoiset kuormat sekä keskipakovoimat ja jarruvoimat siirretään kantavaan pohjamaahan joko vinopaaluilla tai hankekohtaisissa suunnitteluperusteissa mainituilla erityistoimilla. Voidaan mm olettaa, että jatkuva-kiskoraide siirtää osan jarrukuormasta suunniteltavan laatanosan ulkopuolelle. Maan sivuvastuksien käyttö tai laattarakenteen tukeutuminen muuhun rakenteeseen edellyttää kohdekohtaista rakennemallia, jolla osoitetaan rakenteen toiminta.

Maantiepaaluhatturakenteen suunnittelun lähtökohtana on, että rakenteeseen ei kohdistu ulkoisia vaakasuoria maapaine kuormia.

Maaperän lujuudelle kohdassa 3.3 asetettujen ehtojen perusteella voidaan paalujen sivuvastuksen olettaa olevan riittävän ottamaan vastaan liikenteen pystykuormasta aiheutuvan vaakakomponentin, keskipakovoimat ja jarruvoimat. Laskelmin suoritettava tarkistusta ei tarvitse suorittaa.

Paaluhatturakenteessa penkereen oman painon luiskassa aiheuttama vaakakuorma-vaikutus poikkisuunnassa siirretään vinopaaluille. Vinopaalurivejä sijoitetaan luiskan alueelle tarpeellinen määrä, kuitenkin vähintään kaksi. Vinopaalun kaltevuus lasetaan kaavalla 7.3.

$$m = \frac{n}{K_0} \quad (7.3)$$

m on vinopaalun kaltevuus (esim. $m=6 \Rightarrow$ paalun kaltevuus = 6:1)

n luiskakaltevuusluku (esim. $n=3 \Rightarrow$ luiskakaltevuus = 1:3)

K_0 lepopaine kerroin

Radan paaluhatturakenne on käytössä vain olemassa olevan rakenteen korjaamistyössä. Ohjeistus annetaan hankekohtaisissa suunnitteluperusteissa.

6.4.5 Paalun geotekninen kestävyys, vetokestävyys ja sivuvastus

Paalujen kestävyys määräytyy joko paalun rakenteellisen tai geoteknisen kestävyiden perusteella.

Geotekninen kestävyys

Paalujen geotekninen kestävyys, kun niitä käytetään tukipaaluina, määritetään paalun kärjen geoteknisen kestävyiden perusteella.

- Lyöntipaalun geotekninen kestävyys osoitetaan yleensä dynaamisella koekuormituksella.
- Porapaalun geoteknisen kestävyys osoitetaan laskennallisesti pohjatutkimuksiin perustuen.

Geoteknisen kestävyiden mitoitusarvo määritetään noudattaen ohjeita *NCCI 7 ja Paalutusohje 2011 osa 1 kohta 4.5.2*.

Kallioon tukeutuvan porapaalun kärjen geoteknisen kestävyiden ominaisarvo voidaan arvioida *Paalutusohjeen 2011 osan 1 kohdan 4.5.2* mukaan.

Suunnitelmassa tulee aina esittää paalujen upotussyvyyden tavoitetaso.

Paalutuksen suunnittelussa on huomioitava paalutuksesta johtuva maanpinnan nousu sekä sen jälkeinen painuma.

Geotekninen vetokestävyys

Paalujen vetokestävyyttä voidaan hyödyntää paalukon mitoituksessa. Paalujen vetokestävyys ei saa ottaa huomioon hienorakeisten ja eloperäisten maakerrosten vaippavastusta pitkäaikaisissa kuormitustilanteissa.

Paalujen geotekninen vetokestävyys määritetään noudattaen ohjeita *NCCI 7 ja Paalutusohje 2011*osa 1 kohta 4.5.3.

Paalun rakenteellinen kestävyys

Materiaalien ja varusteiden tulee täyttää laatuvaatimukset, jotka on esitetty *Paalutusohje 2011* osan 1 kohdassa 2.5 ja osan 2 kohdassa 3.

Lyöntipaalujen sallitut materiaaliännitykset lyönnissä määritetään *Paalutusohje 2011* osan 1 kohdan 4.7 mukaisesti.

Paalujen nurjahduskestävyys tarkistetaan ohjeiden *NCCI 7 (versio 2013)* kohdan 5.2.2.4 ja *Paalutusohje 2011* osan 1 kohdan 4.7.5 mukaisesti. Paalutusohjeesta 2011 poiketen raakaturpeen sivutuenta ei saa hyödyntää. Maatuneiden ja keskinkertaisesti maatuneiden turpeiden leikkauslujuutta redusoidaan Ratahallintokeskuksen julkaisussa 'B15 Radan stabiliteetin laskenta, olemassa olevat penkereet' esitetyllä tavalla.

Paalutustyöluokkaan PTL3 luettavien paalujen ja pehmeissä hienorakeisissa ja eloperäisissä maissa olevien pienten teräspaalujen nurjahdusvaara on aina tarkistettava.

Poikittaiskuormitetun paalun kestävyys

Sivuvastus määritetään *Paalutusohje 2011* osan 1 kohdan 4.6 mukaisesti. Paalu mitoitetaan taivutukselle ja leikkausvoimalle ko. paalumateriaalia koskevien ohjeiden mukaan.

Paalujen mahdollinen systemaattinen samansuuntainen sallittu kaltevuuspoikkeama on otettava huomioon rakenteen tasapainotarkastelussa.

Paalujen sivuvastuksen hyväksikäyttö tulee hattupaalutuksessa kysymykseen vain hankekohtaisesti sovittaessa.

Lyhyet paalut

Lyhyiden, alle 5 metriä pitkien paalujen sivusuuntaisen tuennan riittävyys tarkistetaan sallittujen kaltevuuspoikkeamien suhteen, mikäli paaluja ympäröivä maa ei anna riittävää sivutukea.

Alle 3 m pituiset paalut kiinnitetään paalulaattaan yleensä jäykästi. Pienin hyväksytty lyöntipaalun maassa oleva pituus riippuu paalun halkaisijasta/sivumitasta d seuraavasti:

- $d \leq 250 \text{ mm}$ 1,5 m
- $250 \text{ mm} < d \leq 350 \text{ mm}$ 2,0 m
- $350 \text{ mm} < d \leq 610 \text{ mm}$ 2,5 m

Porattavien sekä kaivettavien paalujen minimipituus valitaan kohteen erityispiirteiden mukaan. Porapaaluilla kallioon porattava pituus määritetään *Paalutusohjeen 2011* osan 1 kohdan 4.5.2.3 mukaan.

Paaluhatturakenteessa ei saa käyttää alle 5 m:n pituisia paaluja.

Paalujen jatkaminen

Paalujen jatkamisessa noudatetaan *Paalutusohje 2011* osan 2 kohtaa 5.6. Jatkosten laatuvaatimukset ovat *Paalutusohje 2011* osan 2 kohdan 3 mukaiset.

Teräspaalujen hitsattuja jatkoksia varten on laadittava hitsaussuunnitelma osana työ- ja laatusuunnitelmaa.

6.4.6 Paalujen sallitut sijaintipoikkeamat

Paalujen sijainti-, kaltevuus- ja suuntapoikkeamissa noudatetaan *Paalutusohje 2011* osan 2 kohdassa 4.4 ja *InfraRYL 2010* esitettyjä vaatimuksia sillä poikkeamalla, että paalujen keskinäisen välin suurin sallittu poikkeama on + 150 mm. Jos poikkeamiin esitetään suunnitelmakohtaisia edellisestä poikkeavia vaatimuksia, niiden tulee olla pohjasuhteet ja paalutustyön toteuttamistapa huomioon ottaen realistiset.

Yhdensuuntaisten paalujen sekä alaspäin hajaantuvien tai risteävien tukipaalujen ohjeelliset minimietäisyydet määrätään *Paalutusohje 2011:n* mukaisesti.

Sijaintitoleranssin ylittyessä vaikutukset paalukuormaan on tarkistettava.

7 Paalulaatta- ja paaluhatturakenteiden liittäminen muihin rakenteisiin

7.1 Liittäminen siltarakenteisiin

Sillan tulopenkereen ja keilojen kohdilla käytetään tarvittaessa paalulaattaa (kts.kohta 3.3). Tulopenkereitä on käsitelty ohjeissa *Sillan geotekninen suunnittelu* ja *RATO 3*. Paaluhattujen käytöstä 20 m lähempänä siltaa on sovittava hankekohtaisesti.

Sillan maatuen peruslaatan tai laatan reunan välinen maksimietäisyys vaakasuunnassa on 300 mm ja toleransseista johtuva minimietäisyys vaakasuunnassa 100 mm.

Rakenteen liittyessä siltapilareihin tai suurpaaluihin käytetään ensisijaisesti erillistä paalulaattaa. Paalun ja laatan reunan maksimietäisyys on normaalitoleransseja käytettäessä 200 mm ja minimietäisyys vaakasuunnassa 100 mm.

Siirtymälaattaa käytetään paalulaatta- ja paaluhatturakenteen yhteydessä siltojen siirtymälaattojen käytöstä annettujen ohjeiden mukaisesti.

7.2 Liittäminen pohjanvahvistuksiin

Yleistä

Paalulaatta- tai paaluhatturakenteelle perustettu penger voidaan pääsääntöisesti liittää vain pohjavahvistettuun pengerrakenteeseen pehmeiköllä.

Paalulaatta- tai paaluhatturakenteen ja muun pohjanvahvistuksen rajakohta edellyttää yleensä siirtymärakennetta, jolla rajoitetaan painumaeroja.

Tiepenkereen sallitut kaltevuuden muutokset on esitetty ohjeessa *Tien geotekninen suunnittelu*.

Ratapenkereen sallitut kaltevuuden muutokset ja palautuvan painuman raja-arvot radan jäykkyiden muutoskohdissa on esitetty *RATO 3*:ssa.

Tiepenkereen siirtymärakenteita on kuvattu ohjeessa *Tien geotekninen suunnittelu* ja *Geotekniikan informaatiojulkaisussa Tiepenkereen siirtymärakenteet pehmeiköllä, Tielaitoksen selvityksiä 39/1994*.

Siirtymälaatta

Siirtymälaattaa käytetään aina yhtenä siirtymärakenteen osana, kun siirrytään paalulaatalta vahvistetulle pohjamaalle tai vahvistamattomalle maanvaraiselle osalle. Paaluhatturakenteeseen ei voi liittää siirtymälaattaa.

Paalulaatta on siirtymälaattaa käytettäessä vahvistettava päätypalkilla, jonka varaan siirtymälaatta tukeutuu nivelellä. Paalumäärä on tarkistettava, koska kuormitus laatan päädyssä lisääntyy. Tie- ja ratarakenteiden tavanomaiset siirtymälaattaratkaisut on esitetty kuvassa 7.1.

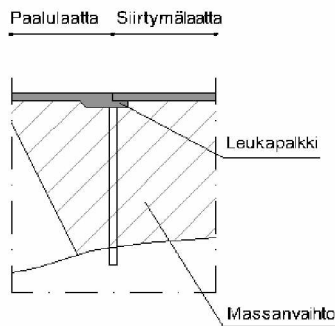
Siirtymälaatan pituus ja jäykkyys määritetään suunnitellulla käyttöajalla sallittun painumaeron ja kulmakiertymän perusteella.

Tiepenkereillä on tavoitteena saavuttaa siirtymäkohdassa tieosuuden normaali ajoturvallisuus ja ajomukavuus sekä lisäksi estää liikenteen laattaan kohdistama dynaaminen kuormitus.

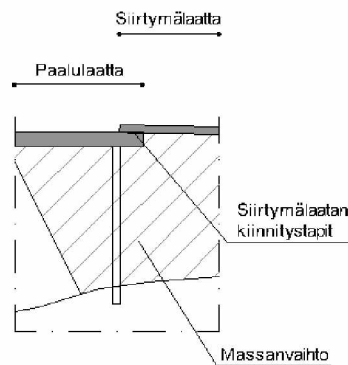
Ratapenkereillä on tavoitteena tasata radan jäykkyyseroja siirryttäessä paalulaatalta maanvaraiselle tai massanvaihdolla vahvistetulle pohjamaalle.

Siirtymälaatan pituus on tavallisesti 3...5 m.

a)



b)

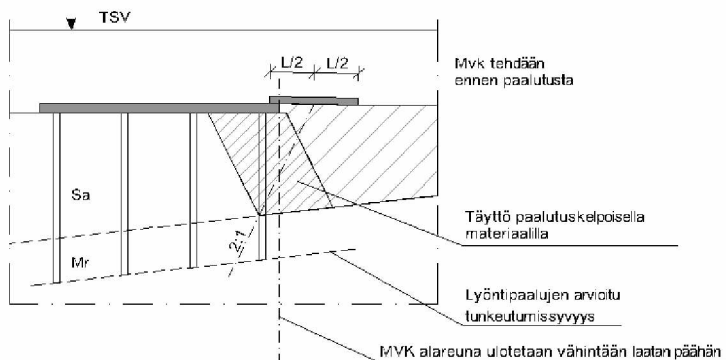


Kuva 7.1: Siirtymälaatan liittyminen paalulaattaan; a) rata- ja tiepaalulaatoilla, b) tiepaalulaatoilla.

Liittäminen massanvaihtoon

Paalulaatta- tai paaluhatturakennetta ei saa liittää pengertämällä tehtävään massanvaihtoon uudisrakennuskohteissa.

Paalulaatta- tai paaluhatturakenne voidaan liittää kaivamalla tehtyyn massanvaihtoon kuvassa 7.2 esitetyllä periaatteella, soveltaen ohjetta *Massanvaihdon suunnittelu*.



Kuva 7.2: Paalulaattarakenteen liittyminen massanvaihtoon.

Paalulaattojen ja paaluhatturakenteiden suunnittelu

Massanvaihdon laajuus paalulaatan alla määritetään siten, että massanvaihdon alareuna ulottuu 2:1 siirtymälaatan puolivälistä, kuitenkin vähintään paalulaatan päätyyn ja kaivu tehdään kaltevuudella 2:1.

Massanvaihdon kaivu- ja täyttötyöt tehdään ennen paalutusta. Massanvaihdon täyttö on tiivistettävä. Täyttö tiivistetään kerroksittain, mikäli mahdollista. Myös syvätiivistystä tai muuta paksun täytön tiivistysmenetelmää voidaan käyttää.

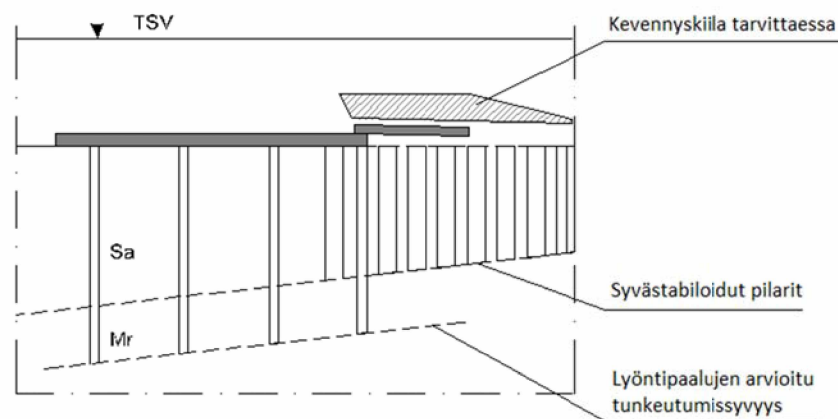
Ratapenkereissä massanvaihdon materiaalit ja tiivistys suunniteltava siten, että RATO 3:ssa esitetyt sallitut kaltevuuden muutokset ja palautuvan painuman rajat arvot radan jäykkyyden muutoskohdissa täytyvät.

Syvissä massanvaihdossa paalutus aloitetaan muutamia viikkoja massanvaihdon täytön jälkeen, jotta massanvaihdosta aiheutuneet huckosylipaineet ja sivusiirtymät ovat ehtineet tasoittua.

Liittäminen syvästabiloituun tiepenkereeseen

Periaate paalulaattarakenteen ja syvästabiloinnin rajakohdasta on esitetty kuvassa 7.3. Syvästabilointi rakennetaan ensimmäiseksi. Suunnittelussa sovelletaan ohjetta *Syvästabiloinnin suunnittelu, Tien pohjarakenteiden suunnitteluohjeet, Liikenneviraston ohjeita 11/2010* mm. esikuormituksen osalta. Siirtymälaatan alueella stabilointi voidaan tarvittaessa suunnitella tihennetyllä pilarivälillä tai siirtymälaatan alueelle rakennetaan kevennys.

Paalujen lyönti pilarikentän vieressä voidaan aloittaa vasta sen jälkeen kun syvästabiloitujen pilareiden on todettu saavuttaneen suunnitellun lujuutensa.



Kuva 7.3: Paalulaattarakenteen liittyminen syvästabilointiin

Pengerkevennyksen ja siirtymälaatan tarve arvioidaan suunnitteluvaiheessa syvästabiloidun kentän lasketun käyttöajan painuman perusteella. Edellä mainittu tarve tarkistetaan pilareiden seurantamittausten tulosten perusteella.

Ratarakenteissa paalulaattaa ei voida liittää syvästabiloinnilla tehtyyn pohjavahvistukseen. Tämä voidaan sallia vain hankekohtaisissa suunnitteluperusteissa.

Liittäminen pystyjojitetuun tiepenkereeseen

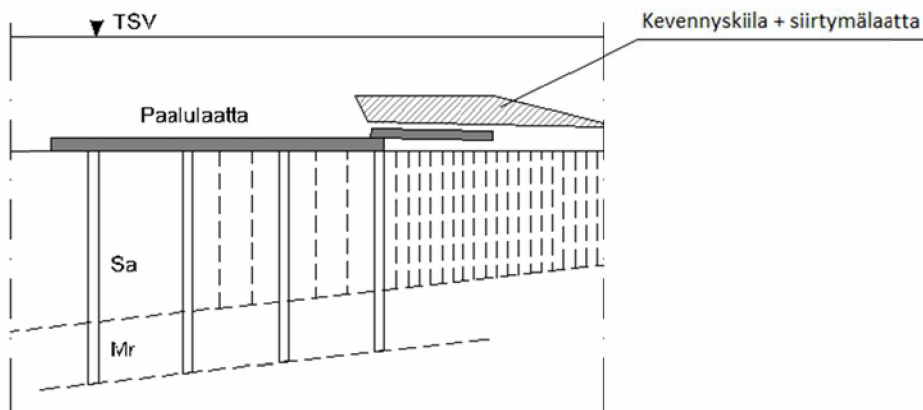
Esimerkki liityntärakenteista on esitetty kuvassa 7.4.

Pystyjojakenttä on rakennettava ja esikuormitettava ennen paalujen asentamista.

Pystyjojakenttä ulotetaan myös muutamia metrejä paalutettavalle alueelle. Siirtymäalueella, jonka pituudeksi valitaan likimain pehmeikön syvyyden suuruinen matka, käytetään normaalia pienempää pystyjojaväliä, joka harvennetaan normaaliksi siirtymätaässä varsinaiselle pystyjoituksella vahvistettavalle pengerosuudelle. Siirtymäaluetta esikuormitetaan yhtä pitkään kuin varsinaista pystyjoitettua pengertä.

Paalutus voidaan aloittaa pystyjojakentän esikuormitusajan jälkeen, kun esikuormituspenger paalutusalueelta on purettu.

Paalutetun rakenteen ja pystyjoituksen rajakohta edellyttää aina siirtymärakennetta, joka suunnitellaan pystyjojakentän odotettavissa olevien laskettujen käytönaikaisten painumien ja sallittujen painumaerojen ja kulmakiertymien perusteella. Siirtymärakenteeseen kuuluu aina siirtymälaatta ja lisäksi tavallisesti kevennyskiila.



Kuva 7.4: Paalulaattarakenteen liittyminen pystyjoitukseen.

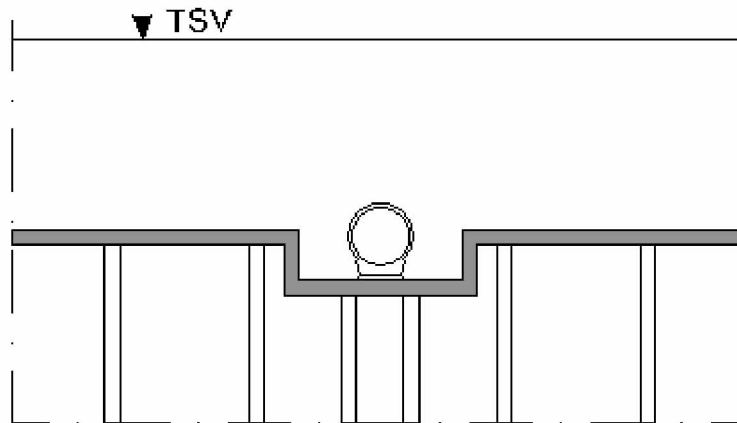
Pystyjoituksen käytöstä paalulaatan siirtymärakenteena on saatu huonoja kokemuksia. Liittymiskohdat ovat usein epäonnistuneet. Painumat saattavat jatkua pitkään pystyjojakentän alueella ja rakenne vaatii toistuvia korjauksia.

Ratarakenteissa paalulaattaa ei voida liittää pystyjoituksella tehtyyn pohjavahvistukseen.

8 Paalutusalueelle tehtävät muut rakenteet

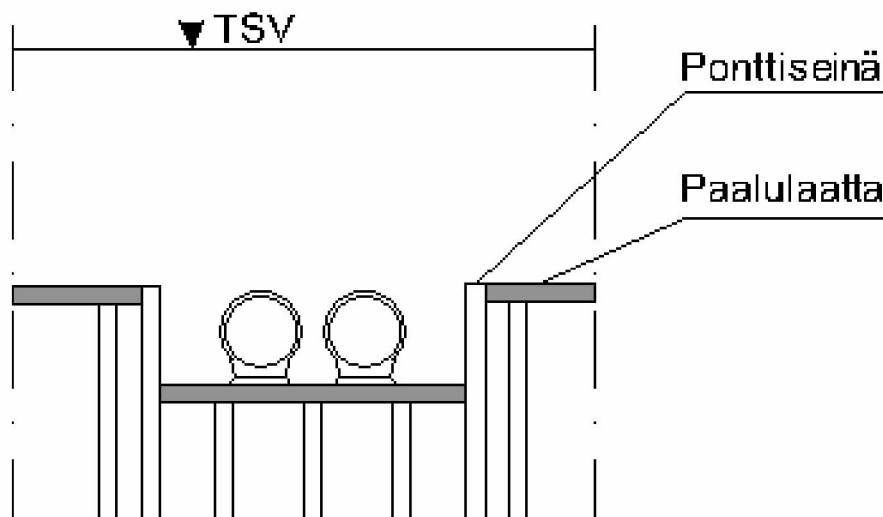
8.1 Kuivatusrakenteet

Paalutusalueelle tehtävät rummut perustetaan tavallisesti paalulaatan päälle kuvan 8.1 mukaisesti. Rummun perustaminen paalulaatan alapuolelle on myös mahdollista, mikäli korkeustasot niin vaativat.



Kuva 8.1. Pengerpaalutus rummun vieressä

Syväällä sijaitsevat rummut joudutaan vakavuussyistä tukemaan esimerkiksi ponttiseinillä, jolloin rakenne voi olla kuvan 8.2 mukainen.



Kuva 8.2. Pysyvillä ponttiseinillä tuettu rumpukaivanto

Paalutusalueella olevien vanhojen rumpujen ja niiden perustusten käyttökelpoisuus joudutaan tutkimaan tapauskohtaisesti. Rumpujen uusiminen on yleensä edullisempaa kuin vanhojen korjaaminen. Ellei uusiminen ole mahdollista, rumpu voidaan suojata erillisellä kehärakenteella.

Paalutusalueen viereen sijoittuvien ojien etäisyys paalukentästä suunnitellaan vakavuuslaskelmien perusteella. Paalukentän viereen sijoittuvat syvät purkuojat joudutaan vakavuussyistä putkittamaan.

8.2 Paalutusalueella sijaitsevat vanhat viemärit yms. rakenteet

Vanhat viemärit, vesijohdot, kaapelit jne. pyritään erillisen johtojensiirtosuunnitelman mukaisesti siirtämään jo vahvistetulle penkereen osalle tavallisesti paalulaatan varaan. Johdot ja kaapelit voidaan viedä suojaputkessa myös laatan ali, mikäli pohjamaan mahdollinen painuminen ei aiheuta ongelmaa.

8.3 Paalutusalueen pylvää, portaalit ja meluesteet

Pylväät, portaalit ja meluesteet voidaan perustaa korkeiden penkereiden kohdalla pengertäytteen varaan.

Jos perustukset kiinnitetään paalulaattaan, on laatta vahvistettava kiinnityskohdasta.

9 Paalulaatan ja paaluhatturakenteen suunnitelman sisältö

9.1 Piirustukset

Paalulaatan ja paaluhatturakenteen suunnitelmaan sisältyy mittapiirustus, jossa esitetään paalujen ja paalulaatan mitta ja asematiedot (koordinaatit). Piirustuksen mitakaavana käytetään usein 1:200. Pienemmissä monimutkaisissa rakenteissa mitakaavana käytetään 1:100.

Paalulaatan suunnitelmassa esitetään laatan mitta- ja raudoituspiirustukset tarpeellisine pituus- ja poikkileikkauksineen. Laajoissa paalulaattakohteissa suunnitelmaan sisältyy yleispiirustus, missä esitetään koko paalulaatta osalaattoineen ja liikuntasaumoineen. Paaluhatturakenteesta esitetään paalukartta sekä tarpeellinen määrä leikkauspiirustuksia.

Paalulaatan tai paaluhatturakenteen mittapiirustuksessa esitetään:

- paalujen sijainnin määrittämistä varten jokaiselle paalulle annetaan x-, y-, ja z -koordinaatit, jotka esitetään erillisessä luettelossa tai tiedot siirretään suoraan mittauskojeelle, paalujen z-koordinaatilla ilmoitetaan paalun katkaisukorkeus
- paalujen k/k-väli
- paalulaatan jokaiselle nurkka- ja taitepisteelle annetaan kooditunnus. Pisteiden koordinaatit esitetään erillisessä luettelossa tai ne siirretään suoraan laskennasta mittauskojeelle.
- käytettävä koordinaatti- ja korkeusjärjestelmä
- suunniteltu käyttöikä paalulaatalle ja paaluille
- paalutustyöluokka
- geotekninen luokka
- paalujen ja muiden rakenteiden sijainti- ja kaltevuustoleranssit
- paalujen materiaali, materiaalivaatimukset, koko, jatkokset ja kärkityyppi
- paalujen puristuskestävyyden mitoitusarvot
- paalujen murtorajatilan maksimi mitoituskuorma
- teräspaaluilla käytettävä korroosiovara tai korroosiosuojaustapa
- paalujen katkaisutaso, -tapa ja upotus laattaan tai hatun sisälle
- paaluhattujen koko, materiaalivaatimukset,
- paalun kuvaamisessa käytetään kullekin materiaalille eri symbolia. Vinojen
 - paalujen kaltevuuden suunta piirretään nuolella ja kaltevuus mainitaan paalutuspiirustuksessa. Kullekin kaltevuudelle valitaan oma symboli. Merkkien selitykset esitetään samassa piirustuksessa.
- paalunkärkien tavoitetasot piirretään kartalle tasa-arvokäyrinä
- tie- tai ratalinjaan mahdollisesti sidotut mitat esitetään mittajanoilla
- paalulaatan tyyppi, rakennepaksuus ja materiaalivaatimukset
- mitoituksessa käytetyt kuormitukset
- mitoituksessa käytetty työkonekuorma ja vaatimukset suojatäytön tekemisestä paalulaatan päälle
- siirtymärakenteet esitetään paalutuspiirustuksissa. Rastereita voidaan käyttää selventämään piirustusta
- vinojen paalujen kaltevuus esitetään myös leikkauspiirustuksissa. Paalujen tavoitetaso piirretään pistekatkoviivalla.

- paalutettavan alueen leikkaustaso ja paalulaatan tai paaluhattujen alapinnan korkeustaso esitetään leikkauspiirustuksissa
- mahdolliset lämpöeristeet esitetään sekä kartalla että leikkauspiirustuksissa

Paalulaatan tai paaluhatturakenteen geoteknissä suunnitelmissa esitetään:

- pohjatutkimuskartta
- geotekniset pituus- ja poikkileikkaukset, joissa esitetään
 - pohjatutkimukset, maakerrokset ja paalujen upotustaso
 - laatan ja uloimpien paalujen sijainti
 - routasuojaus
 - pengerrakenteet ja kaivettavat ojat
 - laatan työalustan rakenne
 - risteävät rakenteet ja johdot, myös ilmajohdot
- liittyvien rakenteiden pohjavahvistukset
- olemassa olevat rakenteet
- tarvittaessa paalutusjärjestys

Paalulaatan tai paaluhatturakenteen raudoitus suunnitelmissa esitetään:

- Raudoituspiirustukset
 - Raudoitusterästen ja -verkkojen sijoitus laatan tasossa ja leikkauksissa
 - Raudoitusverkkojen kuvaus
 - Tarvittavat detaljikuvat
- Betoniteräsluettelo laatoittain
 - Erimuotoiset raudoitusteräket tunnuksineen
 - Kappalemäärä
 - Läpimitta, pituus, paino ja taivutusten pituus
 - Kokonaismenekki

9.2 Laatuvaatimukset, työselostukset ja laskelmat

Paalulaatan tai paaluhatturakenteen rakentamisesta on aina laadittava työkohtainen työselostus ja laatuvaatimukset, joissa esitetään vähintään seuraavat asiat:

- paalujen ja muiden rakenteiden sijainti- ja kaltevuustoleranssit
- paalujen materiaalivaatimukset, koko, jatkokset, kärkityyppi.
- paalutustyöluokka, paalujen tavoitetasot sekä loppulyöntivaatimukset
- paalujen geoteknisen ja rakenteellisen kestävyysmitoitussarvot
- dynaamisesti koekuormitettavien paalujen määrä sekä paaluilta mittauksissa vaadittava geotekninen kestävyys (keskiarvo ja minimiarvo).
- työ- ja paalutusjärjestysasiat
- paalulaatan rakenteelliset vaatimukset
- paalulaatan materiaalivaatimukset
- paalutusalustan rakentaminen ja laatuvaatimukset (6.2.7)
- kohteen erityispiirteet kuten ohjeet ja vaatimukset paalutustöiden seurantamittauksista (6.2.8) ja rakennustöiden ympäristövaikutusten huomioonottamisesta (6.2.9), lujitteiden käytöstä (6.2.5), paalulaatan liittämisestä muihin rakenteisiin (7) ja paalutusalueelle tehtävät muut rakenteet (8)

Paalulaatan tai paaluhatturakenteen suunnitelmista on aina laadittava laskelmat. Laskelmat tehdään noudattaen Liikenneviraston ohjetta *Geotekniset laskelmat*.

